



Direction Régionale
de l'Alimentation,
de l'Agriculture
et de la Forêt
du Languedoc-Roussillon



ANALYSE DU POTENTIEL AGRONOMIQUE AFFECTE PAR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON

PHASE 2 – 2009 / 2010

**APPLICATION DES METHODOLOGIES DE QUANTIFICATION DES TERRES ARTIFICIALISEES ET DE
CARACTERISATION DES DYNAMIQUES DE CONSOMMATION DES TERRES SUR LES
DEPARTEMENTS LITTORAUX DU LANGUEDOC ROUSSILLON**



RAPPORT D'ETUDE

MAUD BALESTRAT, ERIC BARBE, STEPHANE DUPUY

Février 2011



Ce document constitue le rapport de la deuxième phase de l'étude concernant l'analyse du potentiel agronomique affecté par l'aménagement du territoire, commandée par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire (DRAAF Languedoc-Roussillon) en 2007.

La première phase menée par le Cemagref (UMR TETIS, Montpellier) a fait l'objet d'un rapport¹ méthodologique en octobre 2008. Elle a conduit à proposer :

- (i) une méthodologie de quantification des terres artificialisées, en collaboration avec le CIRAD (UMR TETIS, Montpellier),
- (ii) un indice spatialisé de potentiel agronomique des sols INRA (UMR LISAH, Montpellier),
- (iii) des indicateurs d'analyse des dynamiques en lien avec l'artificialisation des sols.

La deuxième phase, objet de ce rapport, a été conduite de 2009 à 2010 par le Cemagref et le Cirad (UMR TETIS, Montpellier). Elle visait à :

- (i) appliquer la méthodologie de quantification des terres artificialisées sur les quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon,
- (ii) développer les indicateurs d'analyse des dynamiques en lien avec l'artificialisation des sols.

Ce rapport est accompagné :

- d'un document regroupant toutes les annexes,
- d'un diaporama de présentation,
- de couches de données SIG représentant les taches artificialisées 1997 et 2009 sur la région Languedoc Roussillon,
- d'une couche de données SIG de classification d'occupation du sol s'intéressant prioritairement à l'extraction d'information concernant l'artificialisation,
- de couches de données SIG représentant les indicateurs spatiaux calculés à différentes mailles d'analyse (communes, cantons, départements), sur la région Languedoc Roussillon,
- d'une couche de données SIG spécifique au département de la Lozère représentant de façon synthétique l'évolution de l'artificialisation entre 2000 et 2009.

Mots clés

Méthode de quantification – tache artificialisée – indicateurs spatiaux – télédétection – RapidEye – IRS – classification orientée objet – système d'information géographique - potentiel agronomique des sols.

Propriété de l'étude

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire, le Cemagref et le CIRAD sont propriétaires des résultats de cette étude.

Auteurs

Maud Balestrat (Cemagref, UMR TETIS) – maud.balestrat@teledetection.fr

Eric Barbe (Cemagref, UMR TETIS) – eric.barbe@teledetection.fr

Stéphane Dupuy (Cirad, UMR TETIS) – stephane.dupuy@teledetection.fr

¹ Balestrat M., Barbe E., Dupuy S., Lagacherie P., Meynard T., 2008. Analyse du potentiel des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire. Étude méthodologique sur une zone pilote (département de l'Hérault - 34). Rapport d'étude, Cemagref, INRA, DRAAF LR. 56 p

Sommaire

1. Contexte et enjeux	4
1.1. Enjeu	4
1.2. Vers une stratégie de préservation des terres agricoles	4
1.3. La commande	4
1.4. Objet du rapport	5
2. Méthode – démarche	6
2.1. Rappel de la méthode générale de quantification des espaces artificialisés	6
2.1.1. Extraction d'informations d'occupation du sol à partir d'images satellitaires - classification	7
2.1.2. Traitement spécifique des routes.....	8
2.1.3. Méthode de détermination de la tache artificialisée	8
2.1.4. Méthode de suivi de l'évolution de l'artificialisation	10
2.2. Adaptation de la méthode de classification pour une application à petite échelle	11
2.2.1. Choix de données	11
2.2.2. Traitement spécifique de la Lozère.....	12
2.2.3. Adaptation de la nomenclature	12
2.2.4. Extraction des espaces artificialisés en 2009	13
2.2.5. Extraction des espaces artificialisés en 1997	15
2.2.6. Validation	15
2.2.7. Temps de traitement	17
2.3. Produits de la méthode de quantification des terres artificialisées	17
2.3.1. Une méthode de détermination des espaces artificialisés	17
2.3.2. Une cartographie des zones artificialisées du Languedoc-Roussillon en 2009	17
2.3.3. Les taches artificialisées 1997 et 2009	18
3. Indicateurs – Analyse de la dynamique de consommation des terres à potentiel agronomique et de ses déterminants	21
3.1. Définitions et objectifs	21
3.1.1. Des indicateurs pour quoi faire ?	21
3.1.2. Produire un système d'indicateurs.....	21
3.2. Description de la démarche	22
3.2.1. Analyse des usages et besoins pour garantir la qualité des indicateurs	22
3.2.2. Elaboration d'un modèle conceptuel systémique	23
3.2.3. Passage d'un modèle explicatif à un système d'indicateurs d'aide à la décision.....	24
3.3. Indicateurs retenus (délivrés aux acteurs)	25
3.3.1. Informations techniques.....	25
3.3.2. Synthèse des indicateurs spatiaux proposés	26
3.4. Principaux résultats à l'échelle régionale et départementale	30
3.4.1. Distribution des types de sols en fonction de leur potentiel agronomique	30
3.4.2. Progression de l'artificialisation.....	34
3.4.3. Artificialisation des sols par classe de potentiel agronomique des sols	37
3.4.4. Dynamiques démographiques et artificialisation	42
3.5. Développement d'un outil de consultation en ligne	44
4. Synthèse et perspectives	45
Table des illustrations	48
Bibliographie	50

1. Contexte et enjeux

1.1. Enjeux

Le développement péri-urbain, le développement de l'habitat en zones rurales et le développement des infrastructures de transport et touristiques se font le plus souvent par prélèvement de terres agricoles. Les dynamiques locales (croissance de la population, enjeux économiques, implantation d'infrastructures et d'immobilier aux dépens de quelques hectares de terres agricoles) et l'intérêt des propriétaires fonciers (souvent directement intéressés par cette vente) amènent systématiquement à entériner le prélèvement de terres agricoles.

Cette dynamique de consommation de terres agricoles au profit de l'urbanisation (au sens large), jugée marginale à l'échelle locale, devient préoccupante à l'échelle régionale et à fortiori nationale quand elle est multipliée par le nombre de communes et accumulée au cours du temps. On peut en effet craindre que cette disparition de terres agricoles soit irréversible : il serait très difficile et coûteux (sinon impossible ou économiquement irréaliste) de les remobiliser pour une production agricole. C'est donc un patrimoine qui est consommé pour un intérêt économique immédiat sans réflexion sur son utilité collective à moyen et long terme. Compte tenu de l'évolution du contexte international de l'alimentation et du commerce des produits agricoles et denrées alimentaires, quel patrimoine de terres agricoles sera nécessaire à assurer une stratégie nationale ? Cette étude a été engagée en vue d'apporter des éléments de réponse à cette problématique.

1.2. Vers une stratégie de préservation des terres agricoles

Si les stratégies de préservation des espaces naturels ou des milieux aquatiques sont reconnues, il reste à mettre en œuvre une telle stratégie de préservation appliquée aux terres agricoles.

Après le projet de Directive européenne sur les Sols qui peut être considéré comme une première étape dans cette direction, la loi de modernisation agricole française constitue une importante évolution dans la prise en compte de ce patrimoine stratégique et sa préservation. L'exposé des motifs du projet de loi précisait « que le rythme annuel de consommation des terres agricoles s'accélère. Il a plus que doublé depuis les années soixante, passant de 35 000 hectares de terres agricoles consommés chaque année, à 75 000. Il devient urgent de mettre en œuvre une véritable politique de préservation du foncier agricole en France, en se fixant comme objectif de réduire de moitié le rythme de consommation des terres agricoles d'ici 2020 ».

De fait la loi n°2010-874 de modernisation de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010 comporte comme objectif prioritaire la réduction de la consommation des terres et instaure plusieurs instruments dont un « observatoire de la consommation des espaces agricoles » qui « élabore des outils pertinents pour mesurer le changement de destination des espaces agricoles et homologue des indicateurs d'évolution » (article L112-1 modifié du code rural). Cet observatoire est complété à l'échelle départementale par une « commission départementale de la consommation des espaces agricoles » qui doit être consultée pour certaines procédures et autorisations d'urbanisme en lien avec l'objectif de réduction de la consommation des espaces agricoles.

1.3. La commande

Consciente depuis plusieurs années de ces enjeux de préservation d'un patrimoine stratégique, la DRAAF Languedoc-Roussillon a sollicité le Cemagref dès 2007 pour élaborer une méthode de suivi et quantification de la dynamique de consommation de terres par le développement de l'habitat en zones péri-urbaines et zones rurales afin de :

- disposer de données chiffrées objectives sur le rythme de consommation de terres par l'artificialisation, à la fois en surface et en caractéristiques,
- comprendre les relations entre les dynamiques démographiques, économiques et sociales (aménagement du territoire) et la consommation de terres, et la façon dont ces dynamiques sont gérées dans les dispositifs réglementaires.

Deux approches complémentaires

Pour apporter des éléments de réponse en termes de superficies et de qualité des terres consommées l'étude a été conduite selon deux approches distinctes et complémentaires :

- une approche quantitative visant à développer une méthode de quantification et de suivi des superficies de terres consommées par le développement de l'habitat en zones péri-urbaines et zones rurales,
- une approche qualitative visant à produire une méthode de qualification des sols selon leur potentiel agronomique et leur aptitude à accueillir de grandes cultures s'appuyant sur les données de sols existantes et en utilisant une typologie pertinente à l'échelle nationale.

Ces travaux n'ont pas été focalisés sur l'analyse de l'évolution des espaces à usage agricole, mais se sont plus généralement intéressés à l'analyse de l'artificialisation des terres, étant entendu que le potentiel agricole d'une terre ne dépend pas de son usage actuel, mais de ses qualités agronomiques et de sa disponibilité.

Une contrainte forte

Tenant compte que les enjeux de préservation d'un patrimoine de terres agricoles s'expriment à l'échelle nationale, la DRAAF Languedoc-Roussillon a imposé comme contrainte que les méthodes proposées soient reproductibles dans l'espace (c'est à dire sur tout le territoire métropolitain) et dans le temps (à plusieurs dates) afin de permettre un suivi homogène de l'artificialisation des terres et de sa caractérisation. Les méthodes et données utilisées doivent donc être suffisamment « génériques » pour être disponibles et applicables sur tout le territoire et « performantes » pour envisager avec réalisme leur mise en œuvre à cette échelle.

Produits

Ce travail a été réalisé par le Cemagref (UMR TETIS) pour l'aspect « quantification » en partenariat avec l'INRA (UMR LISAH) pour l'aspect « qualification ». Il a fait l'objet d'un rapport méthodologique 2008 rendant compte des méthodes et produits analysés puis de la méthode de quantification proposée et testée sur une zone pilote dans l'Hérault (une centaine de communes couvrant des territoires urbains et ruraux et qui s'étendent du littoral aux contreforts des Cévennes). Le rapport 2008 rend compte également en termes de qualification, de la méthode d'élaboration d'un indice spatialisé de potentiel agronomique des sols issu de la BD sol.

Enfin un travail d'interprétation et de croisement de ces méthodes a permis d'élaborer une synthèse sous forme d'indicateurs spatiaux permettant de répondre et d'illustrer les phénomènes de consommation de terres dans le temps.

1.4. Objet du rapport

Fort de ces résultats, la DRAAF Languedoc Roussillon a souhaité poursuivre les travaux en 2009 / 2010 et confier au Cemagref (UMR TETIS) la mise en œuvre de la méthode de quantification proposée, sur les départements littoraux de la région (Pyrénées Orientales, Aude, Hérault et Gard) où la pression foncière est exacerbée afin de valider la pertinence de la méthode et produire un « historique » de l'évolution de l'artificialisation de ces territoires.

Le présent rapport rend compte de la méthode mise en œuvre sur ces 4 départements littoraux, des résultats obtenus et des indicateurs spatiaux produits permettant d'étudier la dynamique de consommation d'espace par l'artificialisation et ses déterminants.

Le travail réalisé et présenté dans ce rapport, initialement exploratoire en 2007 et fondé sur un besoin perçu par la DRAAF Languedoc-Roussillon, revêt une nouvelle dimension aujourd'hui et constitue potentiellement un élément de réponse à la mise en œuvre de l'observatoire de la consommation des espaces agricoles.

2. Méthode – démarche

2.1. Rappel de la méthode générale de quantification des espaces artificialisés

L'étude méthodologique réalisée en 2008 a permis, compte tenu des contraintes de reproductibilité et de disponibilité des données nécessaires, d'élaborer une méthode générique consistant à :

- (i) extraire des informations d'occupation du sol à partir d'images satellitaires selon une nomenclature adaptée, puis les agréger en 2 classes (artificialisé / non artificialisé),
- (ii) appliquer un processus de dilatation / érosion à ces objets afin d'obtenir une « tache artificialisée » représentative de l'emprise au sol de l'artificialisation.

Suivi dans le temps

En appliquant cette méthode à des images couvrant un même territoire prises à des dates différentes, il est possible de créer puis de comparer les taches artificialisées (Cf. 2.1.3.) afin de mesurer l'évolution de l'artificialisation de ce territoire.

Pour cette deuxième phase, en plus d'un état de référence récent, il est demandé de produire un historique permettant d'avoir un aperçu de l'évolution de l'artificialisation durant la dernière décennie. Afin d'optimiser la méthode et de réduire le temps de traitement, nous faisons l'hypothèse que l'artificialisation est un phénomène croissant, tandis que le phénomène inverse de « retour à un état naturel » des espaces artificialisés reste marginal. La classification extraite de l'image à date T peut alors être utilisée comme « masque » pour restreindre le territoire à traiter sur l'image à date T-n. La diminution du nombre de pixels à traiter entraîne un gain de temps important.

La figure suivante présente la méthode générale.

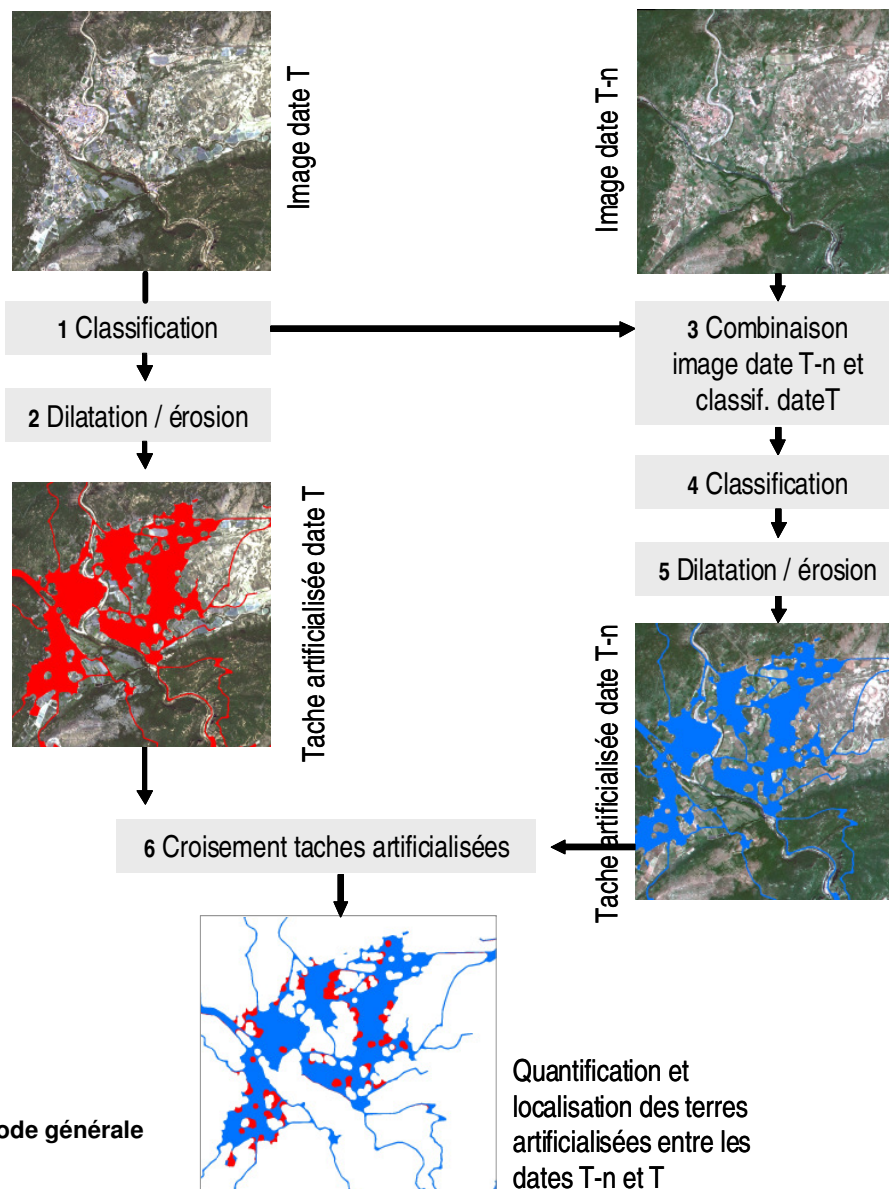


Figure n°1 : méthode générale

Limites de la méthode

Cette méthode constitue un compromis entre la finalité opérationnelle locale d'évaluation et de localisation des terres artificialisées et la contrainte de reproductibilité dans le temps et dans l'espace en vue de sa mise en œuvre potentielle sur tout le territoire national.

De fait, l'intérêt majeur de la méthode réside dans sa capacité à être appliquée à petite échelle² tout en produisant des résultats exploitables à l'échelle locale (1/15 000). Cependant, les processus mis en œuvre relèvent d'une modélisation qu'il ne faut pas chercher à comparer à une analyse exhaustive, type photo-interprétation par exemple, certes plus précise mais économiquement impossible à réaliser ne serait ce qu'à l'échelle d'un département.

2.1.1. Extraction d'informations d'occupation du sol à partir d'images satellitaires - classification

La méthode générale repose sur des images satellitaires, véritables « photographies » d'un territoire à un instant t dont on extrait des informations en vue de leur appliquer ensuite le processus de dilatation érosion permettant de produire la tache artificialisée. Il s'agit à cette étape de réaliser des traitements d'image par classification orientée objet combinant des étapes de segmentation et de classification afin d'extraire les différentes classes d'occupation du sol suivantes illustrées par la figure ci dessous :

- Tissu urbain résidentiel continu (A)
- Tissu urbain résidentiel discontinu (A)
- Tissu urbain résidentiel diffus (A)
- Zones industrielles & commerciales (A)
- Grands axes routiers & ferres (A)
- Aéroports (A)
- Zones portuaires (A)
- Chantiers, Carrières, Décharges (A)
- Espaces verts urbains (NA)
- Espaces sportifs et de loisirs (NA)
- Espaces agricoles (NA)
- Forêts (NA)
- Milieux à végétation arbustive et / ou herbacée (NA)
- Rochers, sols nus & espaces ouverts avec peu de végétation (NA)
- Cours d'eau & plan d'eau (NA)
- Mers et océans (NA)
- Marais (NA)

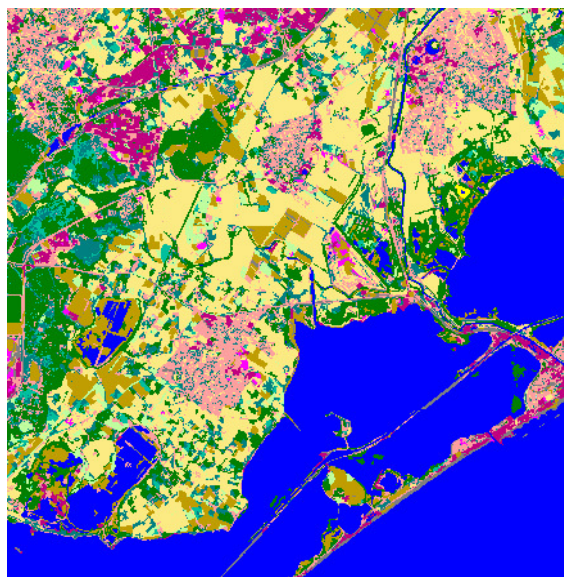


Figure n°2 : exemple de classification (extrait)

Les classes obtenues sont ensuite regroupées en 2 classes synthétiques en vue d'appliquer le processus de dilatation érosion:

- Artificialisé (mention A dans la liste précédente)
- Non Artificialisé (mention NA dans la liste précédente)

La figure ci-contre représente un extrait du résultat de regroupement en 2 classes :

- Artificialisé
- Non artificialisé

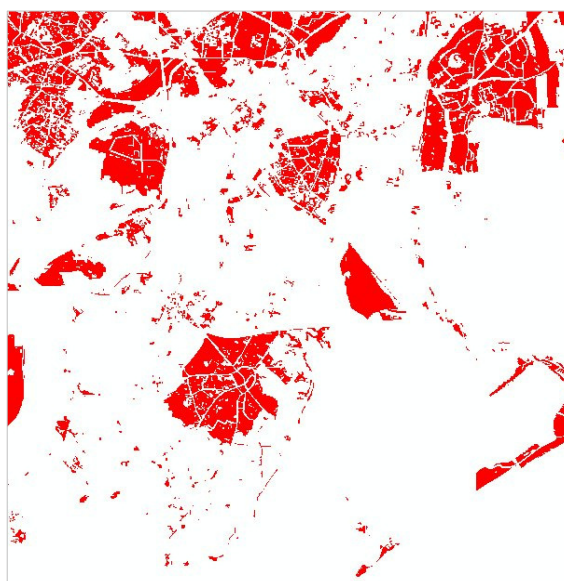


Figure n°3 : classification simplifiée

² Plus l'échelle est petite plus le territoire considéré est grand. Inversement une grande échelle fait référence à un zoom sur un territoire restreint pour offrir un plus grand niveau de détails de la réalité terrain.

2.1.2. Traitement spécifique des routes

Les infrastructures routières sont difficilement identifiables par télédétection. Si une route à grand gabarit (autoroute, 4 voies,...) est facilement repérable du fait de son importante emprise au sol, les routes départementales et à plus petit gabarit bordées ou couvertes par la végétation (arbres) sont généralement masquées sur les images satellitaires.

Compte tenu de la part importante que ces infrastructures représentent en termes d'artificialisation, il est pourtant indispensable de les prendre en considération pour déterminer la tache artificialisée.

Nous avons donc choisi d'utiliser une couche de données vectorielles représentant le réseau routier en complément des images satellitaires pour cette classe d'objets.

Afin de limiter les coûts et tenant compte de la difficulté à disposer de mises à jour régulières de ce type de données, nous n'avons utilisé qu'une seule couche de « routes » (date de validité proche de la date T-n) en faisant l'hypothèse que le réseau routier hors agglomération évolue principalement des deux façons suivantes :

- évolution « mesurée » du réseau existant,
- création de nouvelles routes ou requalification notable de routes existantes (élargissement, changement de statut).

Dans cette hypothèse nous considérons que les évolutions « mesurées » représentent une modification marginale de l'espace artificialisé que nous pouvons ignorer, tandis que les évolutions du fait de la création de nouvelles routes ou la requalification de routes existantes couvrent une importante emprise au sol permettant de les identifier et de les extraire à partir des images satellitaires.

La combinaison de ces routes avec les informations précédemment extraites des images satellitaires constitue la couche finale d'objets artificialisés que nous appellerons « zone artificialisée » et qui permettra de calculer la tache artificialisée.

La figure ci-contre présente un extrait de la « zone artificialisée ».

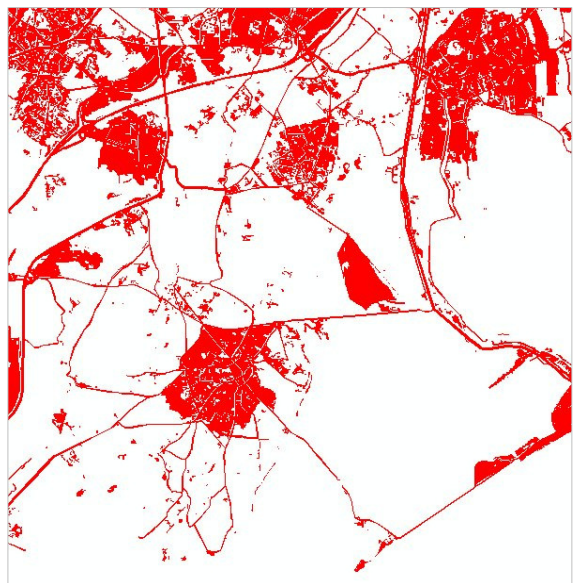


Figure n°4 : zone artificialisée (extrait)

2.1.3. Méthode de détermination de la tache artificialisée

La notion de tache artificialisée développée dans nos travaux constitue une évolution de la notion de tache urbaine connue des géographes et urbanistes. Si le principe (dilatation / érosion) est comparable, notre définition de la tache artificialisée se distingue de celle de la tache urbaine par les objets d'étude et la valeur du critère de distance de continuité du bâti appliquée dans le calcul.

La tache urbaine est focalisée sur le bâti urbain avec un critère de distance de 200m, tandis que notre tache artificialisée agrège tous les éléments d'artificialisation (dont le bâti n'est qu'une occurrence) avec un critère de distance réduit plus adapté aux contextes péri-urbain et rural.

Opération de dilatation / érosion

La création d'une tache artificialisée consiste à agréger les objets de la classe « artificialisé » selon ce critère de distance de continuité du bâti afin de produire une information plus exhaustive sur l'emprise réelle des surfaces artificialisées et d'obtenir un masque d'un seul tenant aux contours homogènes. L'emprise des territoires urbanisés est donc augmentée en appliquant une opération de morphologie mathématique, combinaison de deux opérations élémentaires : une dilatation et une érosion (Cuniberti et al. 2005 ; CERTU, 2007 ; Le Corre et al., 2000 ; AGORAH, 2005). La dilatation consiste à agréger entre eux les objets artificialisés distants de moins de N mètres donc à la création d'un buffer positif (polygone englobant la zone située dans un rayon $R=N/2$ autour d'un objet) à partir de chaque objet représentant les surfaces artificialisées. L'érosion consiste à redonner aux objets leur taille initiale en laissant reliés entre eux les objets qui auront été agrégés en appliquant un buffer négatif de rayon « -R »

La figure suivante illustre les différentes étapes de l'opération de dilatation / érosion sur une partie des communes de Saint Clément de Rivière et de Montferrier sur Lez (département de Hérault).

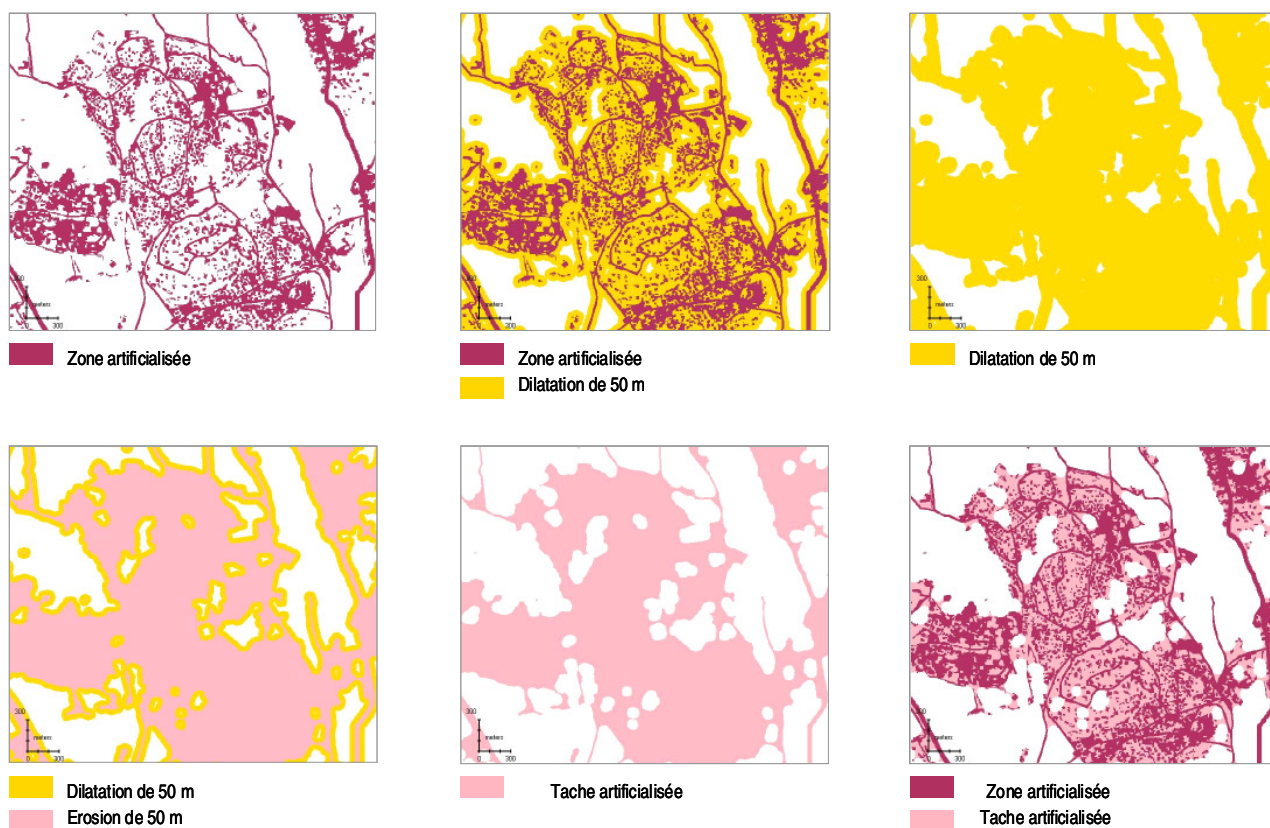


Figure n°5 : étapes de création de la tache artificialisée à partir des objets de zone artificialisée

A partir de la couche « zone artificialisée » précédemment constituée (Cf. 2.1.1 et 2.1.2), on applique une dilatation de 50 m, afin de fusionner tous les objets distants de 100 m maximum et on obtient un polygone englobant. En appliquant ensuite le processus inverse d'érosion de 50m, les contours externes du polygone sont ramenés à l'emprise initiale de la « zone artificialisée », tout en conservant l'agrégation des objets à l'intérieur. La tache artificialisée est désormais constituée.

La dernière illustration de cette figure présente la superposition de la zone artificialisée et de la tache artificialisée. On constate le résultat du phénomène d'agrégation des opérations de dilatation / érosion.

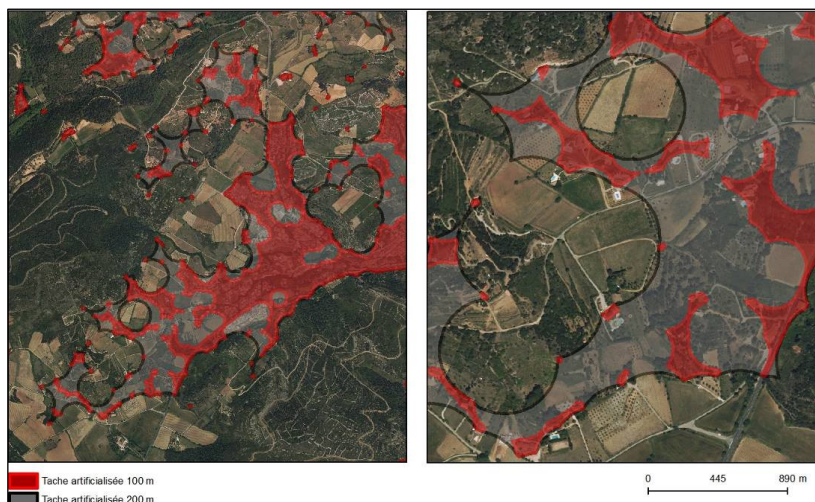
Choix de la distance de continuité du bâti

Pour rappel (Cf. rapport méthodologique 2008), le **critère de continuité du bâti** est lié à la distance entre les éléments artificialisés à prendre en compte pour considérer qu'ils appartiennent ou non à la même zone. Plus le critère de continuité est faible plus la tache artificialisée sera morcelée, il dépend donc du type d'habitat à étudier et de la précision des données exploitées. Les travaux existants sur le choix d'une distance de continuité des bâtiments s'appuient généralement sur le seuil de 200 m admis au niveau international pour la définition des agglomérations.³ Cependant cette définition d'agglomération tient à la volonté de s'accorder sur un vocabulaire universel de la ville et correspond concrètement à la distance qu'une personne peut facilement parcourir à pied entre deux maisons (Le Corre et al., 2000). Ainsi elle n'est pas nécessairement adaptée à la définition d'une tache artificialisée dont la précision et la caractérisation dépendent du mode de détection et de la résolution des données spatiales exploitées pour le traitement.

³ « Une agglomération est un regroupement de population qui, sans tenir compte des limites administratives, forme une zone bâtie dont aucune construction n'est distante de plus de 200 m de la plus proche » (Nation Unies 1978 cité par Albert 2007).

Nous avons déterminé en 2008 que la distance de 100 m (soit un rayon de 50m) constitue la valeur adaptée pour un suivi de l'artificialisation des sols, tant sur les espaces ruraux que péri-urbains et urbains, basé sur une information extraite d'images satellitaires de haute résolution comme l'illustre la figure ci-contre.

Figure n°6 : comparaison de la représentativité des taches artificialisées en fonction de la distance de continuité du bâti retenue



Enfin la figure ci dessous présente, dans la continuité des figures n°2, 3 et 4, un extrait de la tache artificialisée calculée à partir de la classification simplifiée intégrant les routes.

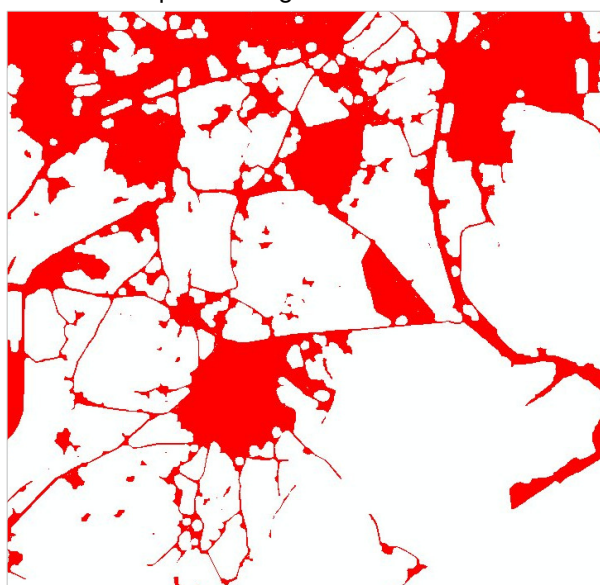


Figure n°7 : extrait de la tache artificialisée

2.1.4. Méthode de suivi de l'évolution de l'artificialisation

En reproduisant la tache artificialisée à plusieurs dates suffisamment espacées dans le temps, il devient possible de suivre l'évolution de l'artificialisation des sols. La combinaison de ces taches permet de localiser et quantifier cette évolution comme l'illustre la figure suivante.



Tache artificialisée date T

Tache artificialisée date T-n

Superposition taches artificialisées

Figure n°8 : suivi de l'évolution de l'artificialisation par superposition des taches artificialisées

2.2. Adaptation de la méthode de classification pour une application à petite échelle

La méthode de classification élaborée durant la première phase de ce projet consistait à produire des cartographies des espaces artificialisés à différentes dates (récente et archive) afin de mesurer la progression de ces zones. Partant de l'hypothèse que tout ce qui n'est pas artificialisé à un instant t ne l'était pas précédemment (Cf. 2.1), nous utilisons la classification la plus récente comme masque permettant de vérifier la nature (artificialisé / non artificialisé) de l'occupation du sol sur les images d'archive.

Ces traitements reposaient sur des images satellitaires type SPOT et IRS testées à différentes dates et résolutions (1989, 1995, 2000 et 2005 avec des résolutions de 2,5m à 25m).

Des adaptations nécessaires pour la généralisation

Les principales limites de cette méthode, observées durant la première phase concernaient :

- le temps de traitement, de l'ordre de 40 jours pour la classification des 103 communes de la zone d'étude,
- le coût d'acquisition des données à haute résolution (de l'ordre de 30 à 40.000 € HT pour le seul département de l'Hérault),
- la faible résolution des images d'archive les plus anciennes ne permettant pas d'obtenir des résultats satisfaisants.

Dans la perspective de généralisation de la méthode aux 4 départements littoraux de la région Languedoc-Roussillon, des adaptations ont été nécessaires en termes de données et traitements afin de contenir les coûts et les temps de traitement tout en conservant la qualité des résultats et en traitant de grands territoires.

2.2.1. Choix de données

Plusieurs fournisseurs d'images satellitaires ont été consultés pour obtenir des couvertures récentes et d'archive de la région Languedoc-Roussillon avec une contrainte inédite d'acquisition des images sous une licence permettant leur large mutualisation gratuite avec les établissements publics et collectivités.

Les images récentes

Nous avons retenu la proposition de la société RapidEye qui a réalisé une couverture spécifique à notre demande au printemps / été 2009 sur la région complète. Ces données ont une résolution de 5 mètres en couleur (canaux bleu, vert, rouge, red edge et proche infra rouge) et sont livrées sous la forme de dalles de 25 km de coté. Au total nous avons reçu 91 dalles comme le présente la figure ci dessous :

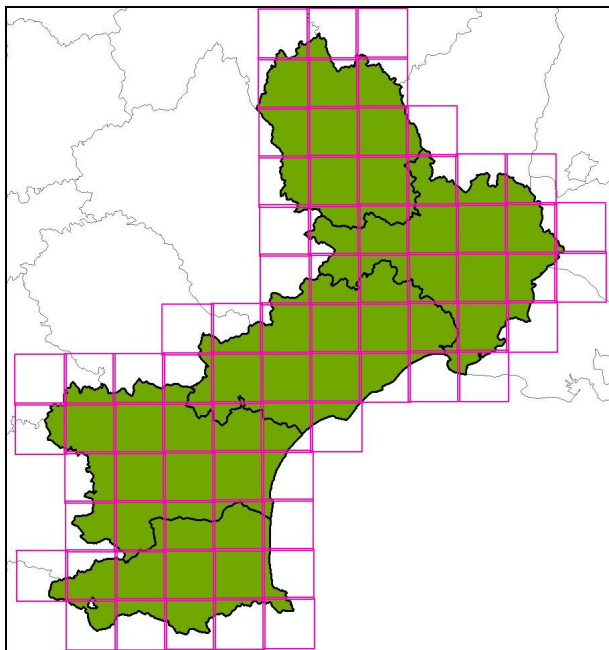


Figure n°9 : tableau d'assemblage des images RapidEye

Les dates d'acquisition de ces données s'étendent du 31 mars au 21 août 2009. Certaines dalles ont été livrées en double pour compenser la présence de nuages.

Les images d'archive

En ce qui concerne les images d'archive, seuls les satellites IRS 1C et IRS 1D fournissent depuis 1996 des données ayant une résolution spatiale comparable aux données RapidEye (25 mètres en multispectral et 5,8 mètres en panchromatique). Nous avons donc commandé 11 couples d'images (multispectrales et panchromatiques) acquises entre le 23 octobre 1996 et le 5 septembre 1997 (Cf. figure n°10).

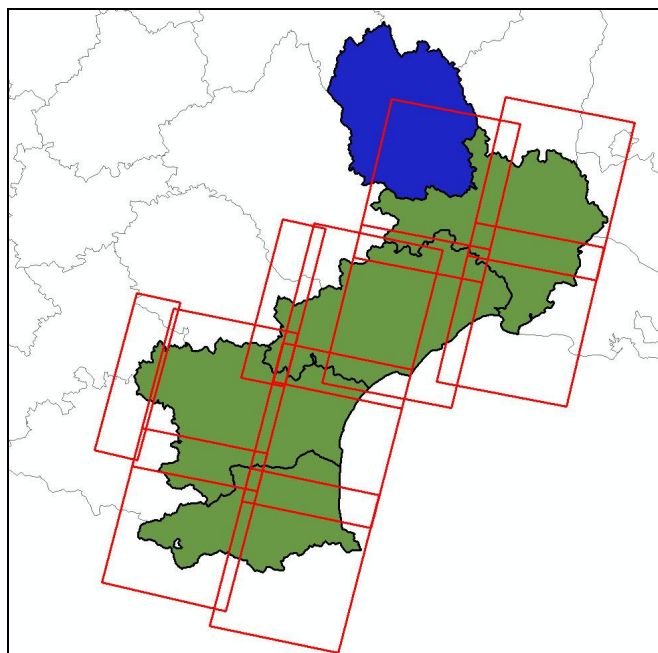


Figure n°10 : Tableau d'assemblage des images IRS

Conformément à la commande de l'étude de généralisation, les quatre départements littoraux sont couverts par ces images d'archive. Afin de contenir les coûts elles ont été commandées au niveau 1A, ce qui a nécessité la mise en place d'un chantier d'orthorectification⁴ qui a duré 2 mois.

Mutualisation des données

Comme évoqué précédemment, une contrainte inédite de licence permettant la mutualisation gratuite avec les acteurs de la sphère publique en enseignement, recherche et collectivités a été spécifiée aux fournisseurs d'images satellitaires contactés. De fait les images RapidEye et IRS ont été acquises sous ce type de licence et sont désormais disponibles gratuitement auprès du Cemagref de Montpellier pour tous les établissements publics, sous réserve d'une utilisation non commerciale.

2.2.2. Traitement spécifique de la Lozère

L'objet de ce rapport répond à la demande de généralisation de la méthode de quantification des terres artificialisées sur les départements littoraux du Languedoc-Roussillon. Compte tenu de la disponibilité de données sur le département de la Lozère (couverture complète en images satellitaires en 2009 et partielle en 1997), nous avons développé en complément une approche spécifique pour ce département en produisant une donnée comparable à Corine Land Cover pour l'année 2009 qui permet d'évaluer grossièrement l'évolution de l'artificialisation de ce département (Cf. annexe n°3).

2.2.3. Adaptation de la nomenclature

Lors de la première phase de l'étude, nous avons constaté une importante limite concernant les temps de traitement très longs pour réaliser la cartographie des espaces artificialisés. Afin de réduire ces temps tout en conservant la pertinence des résultats nous avons simplifié la nomenclature en diminuant le nombre de classes. Cette simplification a un impact sur le résultat intermédiaire de cartographie d'occupation du sol mais n'en a aucun sur le résultat final (segmentation des espaces artificialisés et non artificialisés).

En effet certaines classes précises relevant d'espaces naturels (landes, garrigue,...) ou d'espaces agricoles (parcours, vigne,...) sont très difficiles à discriminer (surtout en milieu méditerranéen) et nécessitent des traitements spécifiques en plus d'une lourde étape de photo-interprétation.

⁴ Redressement géométrique des images afin que chaque pixel soit superposable à une carte plane qui le représente.

Nous avons donc conservé les classes les plus discriminantes (du point de vue artificiel / non artificiel) et faciles à traiter et nous avons supprimé les sous classes qui ne représentaient qu'un intérêt complémentaire (cartographie d'occupation du sol fine).

La figure ci-dessous présente la nomenclature retenue afin de diminuer de façon significative le temps de travail alloué à la photo-interprétation. Neuf classes ont été retenues.

Nom de classe	méthode utilisée
Zone artificialisée	Obtenues par télédétection puis corrigées par photo-interprétation
Végétation urbaine	
Espace agricole	
Zone naturelle	
Zone en eau	
Zone naturelle humide	
Carrière, chantier, décharge	
Route 10m	Obtenues à partir de la BD Carto © de l'IGN
Route 20m	

Figure n°11 : nomenclature retenue

2.2.4. Extraction des espaces artificialisés en 2009

Le changement de capteur (passage de Spot 5 à RapidEye) d'une part et notre volonté de réduire le temps de photo-interprétation d'autre part, nous ont poussés à sensiblement modifier le processus de classification des images.

Texture

La première modification importante consiste à utiliser des indices de texture qui formalisent l'organisation spatiale des pixels. Ces indices sont des paramètres statistiques de matrice de cooccurrence (nombre de fois qu'une transition entre deux niveaux de gris apparaît dans une fenêtre glissante caractérisant le voisinage du pixel). Ces indices sont calculés sur les images RapidEye puis ajoutés dans le logiciel eCognition afin d'être utilisés dans la classification au même titre que les canaux des images. Ils sont utilisés pour extraire les zones artificialisées qu'ils mettent bien en évidence, comme l'illustre la figure suivante.

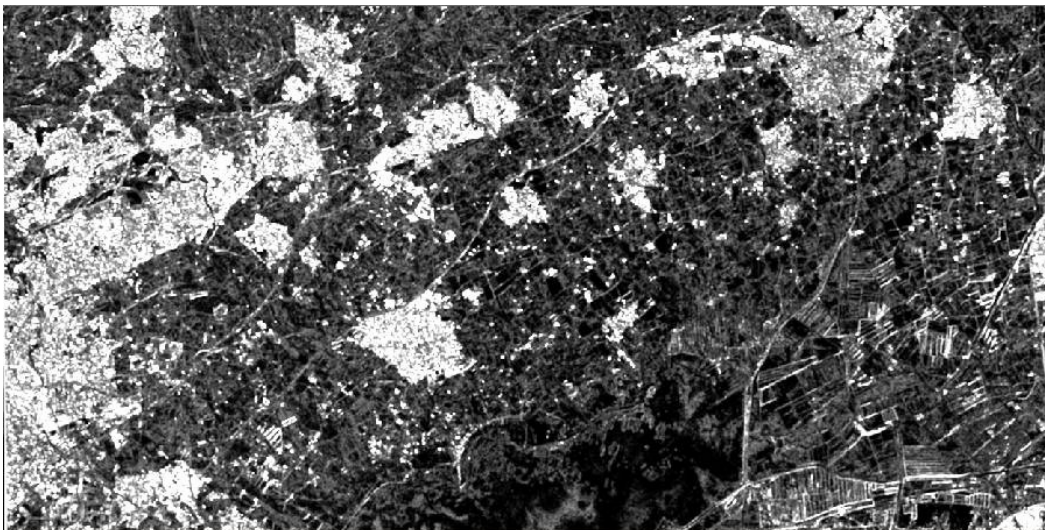


Figure n°12 : exemple de texture

Processus de classification

En télédétection l'extraction des espaces artificialisés pose souvent des problèmes car ils présentent une grande variété de réponses spectrales (toits en tuiles, en tôles, voiries...). De plus sur une image à haute résolution spatiale un seul bâtiment peut être composé de pixels de radiométries différentes. La classification par pixels n'est donc pas suffisamment efficace car on identifie des couleurs de pixels mais pas des objets. Comme lors de la phase 1 de cette étude, nous avons donc utilisé le logiciel eCognition Developer qui s'appuie sur une méthode de classification orientée objet. Le traitement se décompose en deux étapes : la segmentation de l'image en groupes de pixels homogènes (objets) puis la classification des objets.

Nous avons modifié le processus de classification en adoptant une approche descendante⁵, le premier niveau de segmentation étant utilisé pour faire un zonage grossier du paysage qui sera ensuite affiné pour retrouver tous les détails fournis par l'image. La figure ci dessous en schématise le principe.

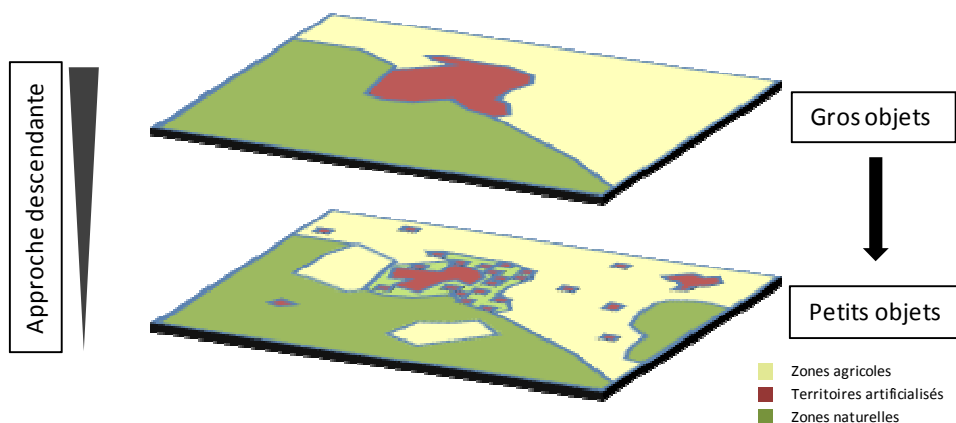


Figure n°13 : approche descendante

Cette méthode permet d'utiliser des paramètres de classification différents en fonction du zonage défini au départ. On va donc séparer le paysage en 5 classes (Cf. figure n°14) qui seront ensuite retravaillées dans le niveau de segmentation suivant. En effet, prenons l'exemple de la détection des zones artificialisées, le centre d'une ville (ou d'un village) est visuellement différent des zones périphériques. Si on choisit le même paramètre (ou le même seuillage) pour séparer ces deux comportements, nous serons confrontés à des confusions entre ces objets artificialisés et d'autres zones aux comportements (radiométriques ou texturaux) proches mais qui ne doivent pas être classés de la même façon (les sols nus agricoles notamment).

Comme indiqué au paragraphe 2.1.2 l'extraction des routes en télédétection et plus particulièrement avec des images d'une résolution spatiale de 5 mètres, est très difficile car elles peuvent être bordées d'arbres (dans ce cas seuls les arbres sont visibles sur l'image) ou d'une emprise au sol trop faible pour être identifiées. L'utilisation de la télédétection pour extraire cette classe ne nous aurait pas permis d'obtenir une information exhaustive. Nous avons donc utilisé la couche routes de la base de données de l'IGN « BD CARTO® » (2000) qui représente tout le réseau routier sous forme de lignes. Nous avons ensuite attribué une largeur à ces routes en fonction de leur nature (10m pour les routes à deux voies et 20 m pour les autres) afin de les représenter sous forme de polygones fidèles à leur emprise au sol.

Ces polygones ont été intégrés dès le départ dans le processus de classification. Les routes construites récemment et qui n'étaient donc pas référencées dans cette couche ont été extraites de façon automatique ou ajoutées manuellement.

⁵ Ecognition permet de travailler avec plusieurs niveaux de segmentation emboîtés. Chaque niveau est classé pour extraire les éléments du paysage à plusieurs échelles. Si on part d'un niveau grossier et qu'ensuite on travaille avec des objets plus fins on parle d'approche descendante. Dans le cas contraire, on parle d'approche ascendante.

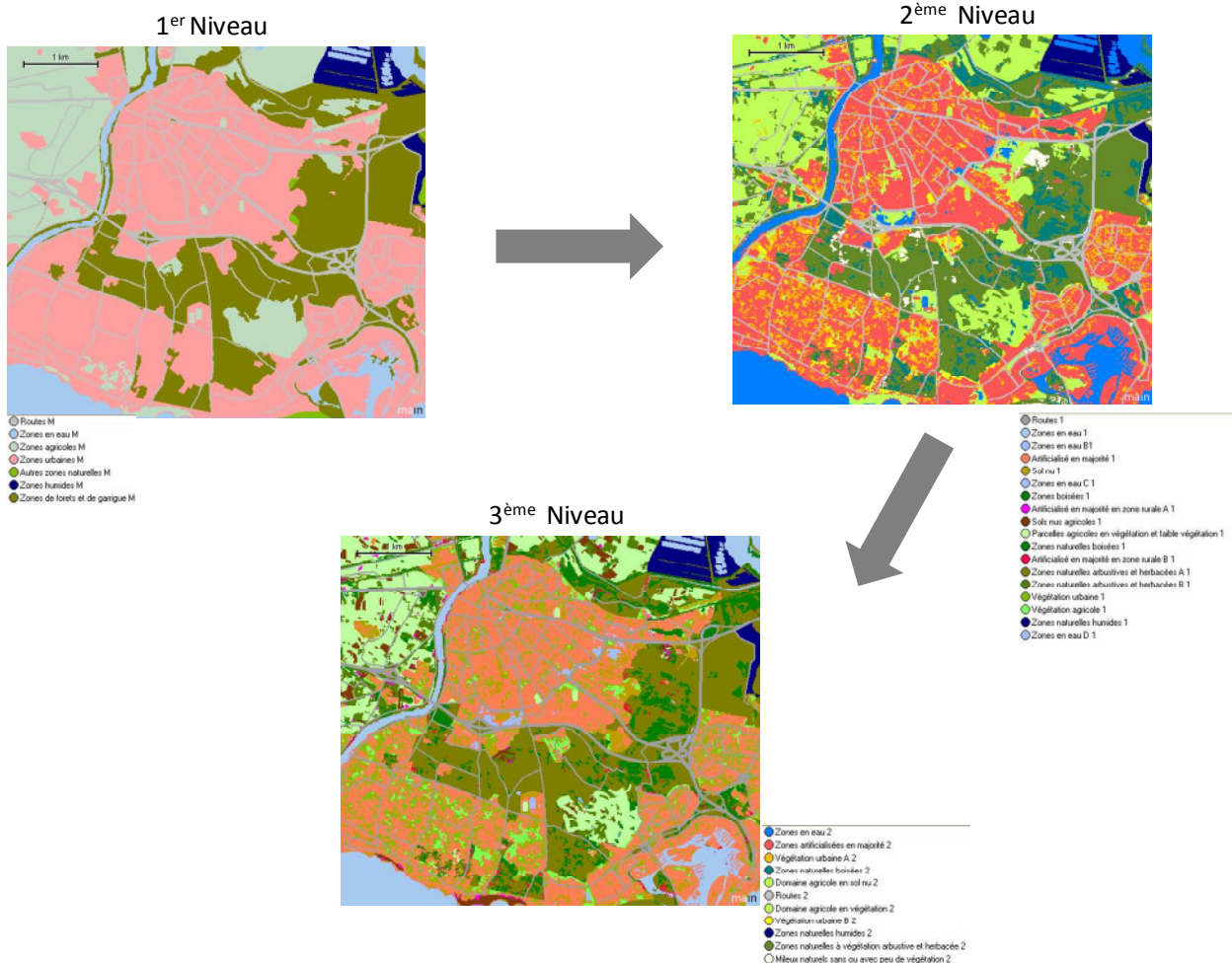


Figure n°14 : exemples de résultats obtenus pour chaque niveau de segmentation

2.2.5. Extraction des espaces artificialisés en 1997

Les images d'archive IRS dont nous disposons ont une résolution spatiale plus faible que les images RapidEye 2009. Afin de comparer les cartes d'occupation du sol et de mettre en évidence les évolutions entre chaque date nous avons utilisé la cartographie réalisée en 2009 comme un masque pour classer les images d'archive. Il s'agit de vérifier sur chaque image si les zones artificialisées en 2009 l'étaient déjà sur les images d'archive.

Ce plan est inséré dans le logiciel eCognition Developer avec les images et l'indice de texture calculé à partir de l'image panchromatique IRS (Cf. 2.2.3). La segmentation est ensuite suivie d'une classification qui détecte dans les zones construites en 2009 si sur l'image d'archive les bâtiments étaient déjà présents. Le résultat obtenu est ensuite croisé avec les couches routes de la base de données cartographique de l'IGN. Enfin un post traitement par photo-interprétation est effectué pour corriger les erreurs de classification.

On obtient donc une classification contenant deux classes :

- Les territoires artificialisés
- Les autres occupations

2.2.6. Validation

Il est nécessaire d'évaluer la qualité des résultats obtenus afin de connaître le degré de validité de l'information produite en vue de son utilisation. La méthode utilisée ici s'inspire d'un outil de validation mis en place par l'Inventaire Canadien des Terres Humides et présenté lors de la 12ème conférence des utilisateurs des produits Esri à Montréal (Benoit et al. 2006), en particulier sur la construction du référentiel et la stratégie d'échantillonnage. Un descriptif plus détaillé de ce travail est disponible dans l'annexe n°2.

Données de référence

Il s'agit des données qui représentent la « vérité terrain ». Idéalement, elles sont acquises soit sur le terrain, soit à partir de photographies aériennes ou autres données de télédétection différentes de celles utilisées pour la classification (Girard et al., 2004). Pour des raisons de coût et de temps, comme dans la perspective globale de généralisation, il est impossible d'effectuer un échantillonnage terrain sur l'ensemble de la région Languedoc-Roussillon. Ce sont donc les images satellitaires utilisées pour les traitements qui ont également servi de données de référence pour valider les résultats (et éventuellement des données auxiliaires comme la BD Ortho® IGN par exemple).

Méthode

Un opérateur a pour mission d'interpréter visuellement l'occupation du sol des données de référence sur un jeu de polygones issus de la couche d'occupation du sol dont la classe d'appartenance (Cf. nomenclature 2.2.3) a été préalablement supprimée. Les résultats sont ensuite comparés aux résultats produits par le traitement automatique afin d'obtenir une matrice de confusion qui renseigne sur la cohérence des deux classifications.

Pour assurer l'indépendance entre la classification et la référence, l'analyste ne connaît pas les classes déterminées sous eCognition Developer.

Mode d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à sélectionner un certain nombre de polygones sur la couche d'occupation du sol. A l'instar des points de contrôle, ces polygones servent de données de référence dans la matrice de confusion. Pour être représentatif de l'ensemble de la classification, le mode d'échantillonnage est aléatoire et stratifié par type d'occupation du sol.

Sur les dix classes de la couche d'occupation du sol, trois sont de nature « exogènes ». En effet, les deux classes « route 10m » et « route 20m » sont issues des données IGN et la classe nuage résulte d'une photo-interprétation. En conséquence ces trois classes sont exclues et la validation porte uniquement sur les sept classes restantes. Pour chacune d'entre elles, 230 polygones sont sélectionnés au hasard, soit un échantillon total de 1610 polygones.

Évaluation de la qualité sémantique

Près des deux tiers des 1610 polygones sélectionnés sont photo-interprétés. Les échantillons étant indépendants, le nombre de « polygones de contrôle » bien classés à évaluer doit être compris entre 30 et 50 entités (Congalton 1991 ; Girard et al. 2004).

La matrice de confusion obtenue respecte ces critères (Cf. figure n°15) et se base sur 1071 entités de contrôle. Elle comprend en colonnes l'information thématique résultant de la classification, en lignes les données des classes de référence (photo-interprétation des images RapidEye 2009). Les valeurs de la diagonale de la matrice représentent le nombre d'entités correctement classifiées.

Référence	Classification								Total	Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
	Carrière, chantier, décharge	Espace agricole	Végétation urbaine	Zone artificialisée	Zone en eau	Zone naturelle	Zone naturelle humide				
Carrière- chantier- décharge	9,90	0,37	0,00	0,37	0,09	0,00	0,09	10,83	91,38%	8,62%	
Espace agricole	0,93	7,28	1,49	0,93	0,28	2,80	0,19	13,91	52,35%	47,65%	
Végétation urbaine	0,00	1,96	8,87	0,37	0,28	1,03	0,28	12,79	69,34%	30,66%	
Zone artificialisée	1,31	1,31	1,12	12,04	1,96	0,19	0,47	18,39	65,48%	34,52%	
Zone en eau	0,19	0,00	0,09	0,09	10,27	0,09	0,75	11,48	89,43%	10,57%	
Zone naturelle	0,75	3,92	2,24	0,28	0,56	11,02	0,19	18,95	58,13%	41,87%	
Zone naturelle humide	0,28	0,28	0,28	0,00	0,75	0,09	11,95	13,63	87,67%	12,33%	
Total	13,35	15,13	14,10	14,10	14,19	15,22	13,91	100,00			
Précision utilisateur (%)	74,13%	48,15%	62,91%	85,43%	72,37%	72,39%	85,91%				
Erreur de commission (%)	25,87%	51,85%	37,09%	14,57%	27,63%	27,61%	14,09%				
Précision globale	71,34%										
Précision moyenne	73,40%										

Figure n°15 : matrice de confusion détaillée exprimée en pourcentage

La précision globale (ou totale) désignant la proportion d'objets bien classés par rapport au nombre total d'individus, s'élève aux alentours de 71%. Dans son ensemble, la classification est jugée correcte. Néanmoins, la précision est très variable entre classes d'occupation du sol. En particulier la classe « espace agricole » qui cumule des erreurs d'omission (47.65%) et de commission (51.85%).

Les confusions sont très fortes avec la classe « zone naturelle ». Cette dernière reste néanmoins tout à fait exploitable puisque « la précision de l'utilisateur », qui mesure la probabilité d'une classification adéquate des entités, avoisine les 72%. Concernant la classe « végétation urbaine », une légère confusion ressort avec les classes « zone naturelle » et « espace agricole ». A priori, ces erreurs sont liées à la définition de la classe et aux procédures d'assignation automatique sous eCognition Developer, par exemple : la végétation urbaine est-elle incluse dans et/ou contiguë à l'urbain ?

Dans le cadre de cette étude nous nous intéressons prioritairement à la distinction entre les espaces artificialisés et les espaces non artificialisés. Pour ce faire nous avons donc regroupé la classification et les données terrain selon ces deux classes pour évaluer la précision résultante.

La matrice de confusion obtenue, construite à partir de ces classes (Cf. figure n°16), indique une **précision globale de 91%**, qui traduit un très bon résultat en termes de distinction entre les classes « artificialisée » et « non artificialisée ». **Cette évaluation confirme la pertinence de la méthode et la validité des produits obtenus.**

Référence	Classification			Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
	Zone artificialisée	Zone non artificialisée	Total		
Zone artificialisée	23,62	5,60	29,23	81%	19%
Zone non artificialisée	3,83	66,95	70,77	95%	5%
Total	27,45	72,55	1071		
Précision utilisateur (%)	86%	92%			
Erreur de commission (%)	14%	8%			
Précision globale	91%				
Précision moyenne	88%				

Figure n°16 : matrice de confusion exprimée en pourcentage

2.2.7. Temps de traitement

Les temps de traitements moyens observés pour adapter la méthode, l'appliquer et produire les taches artificialisées les plus récentes sont de l'ordre de 20 jours par département, dont 6 jours de post-classification.

Il faut ensuite compter 4 jours par département pour obtenir la tache artificialisée issue des données d'archive dont un jour de post classification.

2.3. Produits de la méthode de quantification des terres artificialisées

La méthode générale de quantification des terres artificialisées consiste à extraire des informations relatives à l'artificialisation des sols à partir d'images satellitaires puis à les traiter de manière à produire les taches artificialisées représentatives de l'emprise au sol de ces espaces artificialisés. Nous avons détaillé ces méthodes et argumenté leur adaptation au traitement à petite échelle que nécessitait le territoire des quatre départements littoraux de la région à couvrir. Nous présentons ci-dessous les produits résultants de ces travaux :

- une méthode de détermination des espaces artificialisés, reproductible sur un grand territoire, permettant d'obtenir une délimitation précise des espaces artificialisés
- une cartographie des zones artificialisées du Languedoc-Roussillon en 2009 (sous forme de couche SIG)
- une tache artificialisée de la région Languedoc-Roussillon en 2009 (couche SIG)
- une tache artificialisée des quatre départements côtiers du Languedoc-Roussillon et de la moitié sud de la Lozère en 1997 (couche SIG)

2.3.1. Une méthode de détermination des espaces artificialisés

La méthode élaborée et appliquée sur une zone limitée (103 communes) durant la première phase de l'étude a été améliorée, adaptée et appliquée avec succès à un territoire d'emprise régionale. Elle permet de produire de façon semi automatisée des taches artificialisées fidèles au territoire considéré et utilisables jusqu'à l'échelle du 1/15 000. Cette méthode peut désormais être transposée sur d'autres territoires, avec un temps moyen de traitement de l'ordre de 20 jours par département.

2.3.2. Une cartographie des zones artificialisées du Languedoc-Roussillon en 2009

La méthode de détermination des espaces artificialisés passe par la réalisation d'une carte d'occupation du sol en 10 classes qui constitue en soi un produit intermédiaire notable. Il s'agit d'une cartographie dont la finalité d'extraction des zones artificialisées détermine les limites. En effet, comme présenté en paragraphe 2.2.6, nous acceptons pour cette classification quelques confusions entre les seules classes « zone naturelle » et « zone agricole » Sous réserve des limites concernant ces deux classes, cette classification représente une couche d'information pertinente (Cf. annexe n°7).

2.3.3. Les taches artificialisées 1997 et 2009

Les taches artificialisées constituent les produits cibles de la méthode. Ce sont les couches d'information qui vont permettre de localiser les espaces artificialisés et d'analyser leur progression dans le temps. Pour affiner ces analyses et compte tenu de la part importante que représentent les infrastructures dans l'artificialisation du territoire, nous avons décliné ces taches artificialisées en trois versions intégrant plus ou moins les routes. Ainsi pour chaque année (1997 et 2009), nous avons obtenu les trois produits suivants :

- une tache artificialisée prenant en compte l'ensemble des routes,
- une tache artificialisée prenant en compte uniquement les grandes routes,
- une tache artificialisée sans route.

Au total ce sont donc six taches artificialisées qui ont été produites, les trois de l'année 2009 couvrant toute la région Languedoc-Roussillon et les trois de l'année 1997 couvrant les quatre départements littoraux et la moitié de la Lozère.

Les taches artificialisées du département de l'Hérault

Les figures n°17 à n°19 suivantes illustrent ces trois types de taches artificialisées sur le département de l'Hérault. Les illustrations représentant ces mêmes taches sur les départements de l'Aude, du Gard, de la Lozère et des Pyrénées Orientales sont présentées en annexe n°1.

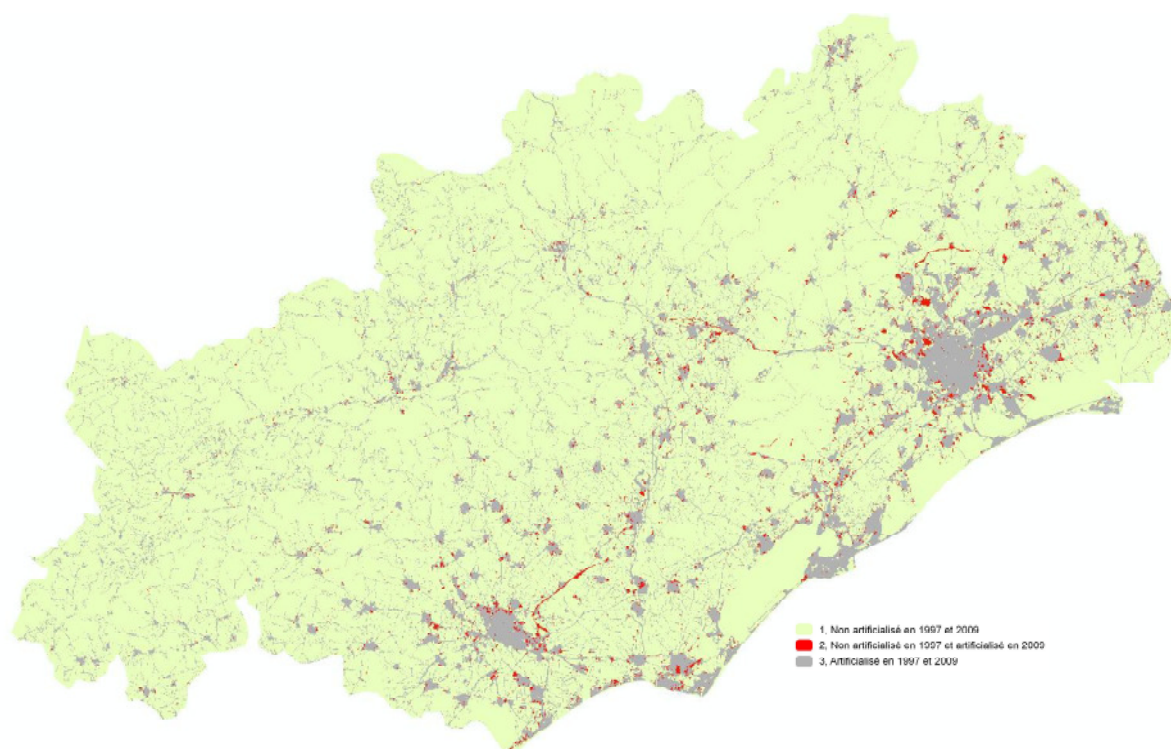


Figure n°17 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département de l'Hérault)

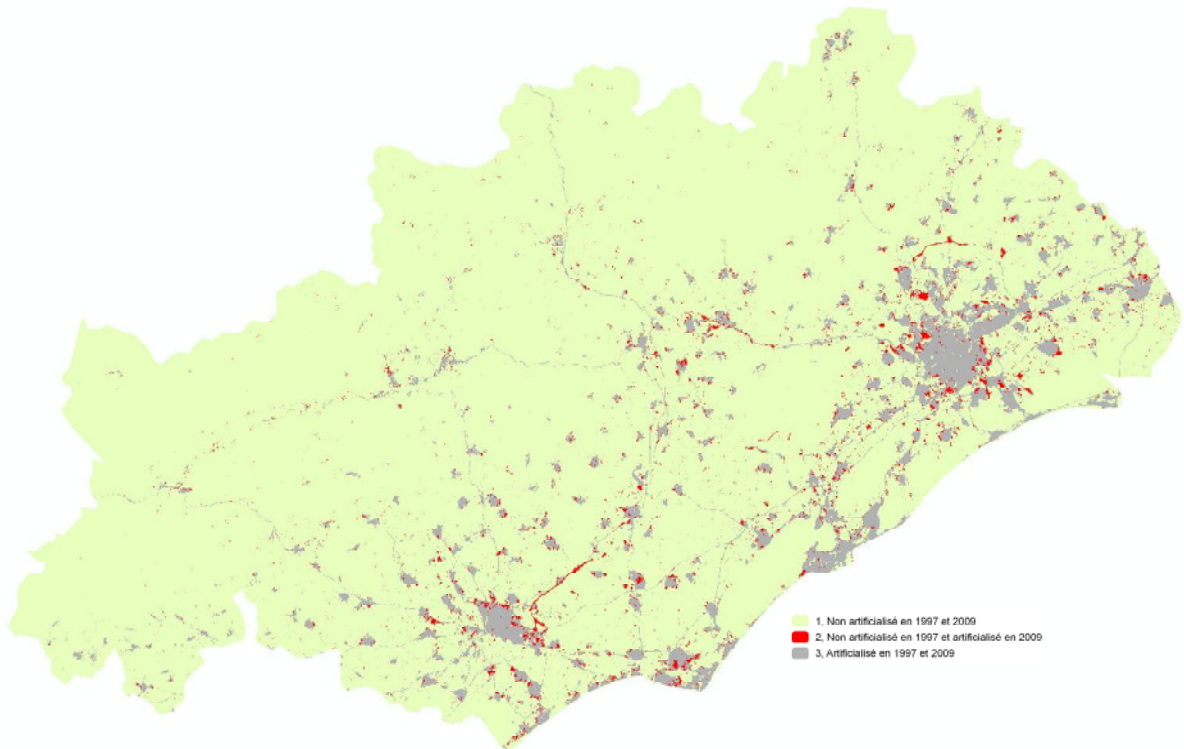


Figure n°18 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département de l'Hérault)

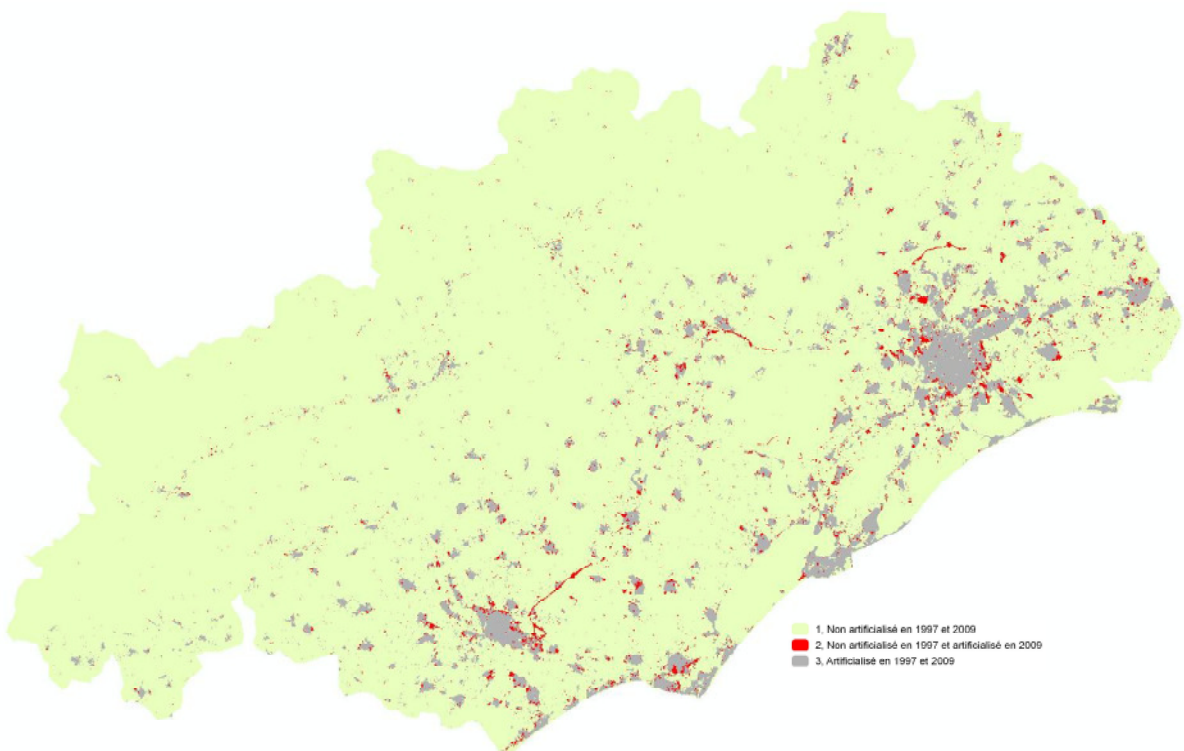


Figure n°19 : tache artificialisée sans routes (département de l'Hérault)

Les taches artificialisées à grande échelle

Les figures n°20 à n°22 suivantes illustrent la superposition des taches artificialisées toutes routes sur les images satellitaires à un niveau détaillé sur un secteur de la commune de Prades le Lez (département Hérault).



Images RE 2009 - secteur Prades le lez

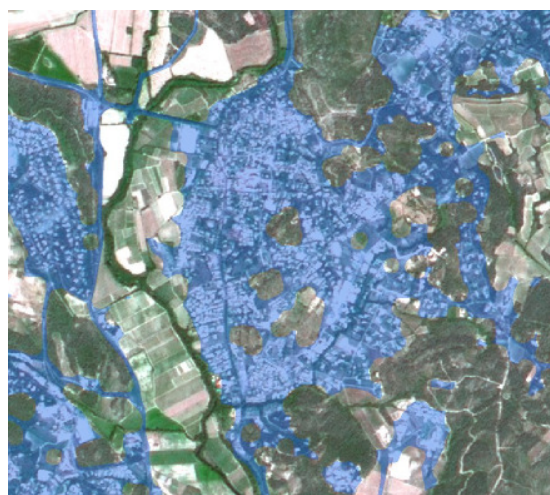


Tache artificialisée 2009

Figure n°20 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 2009 et des images Rapide Eye (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez

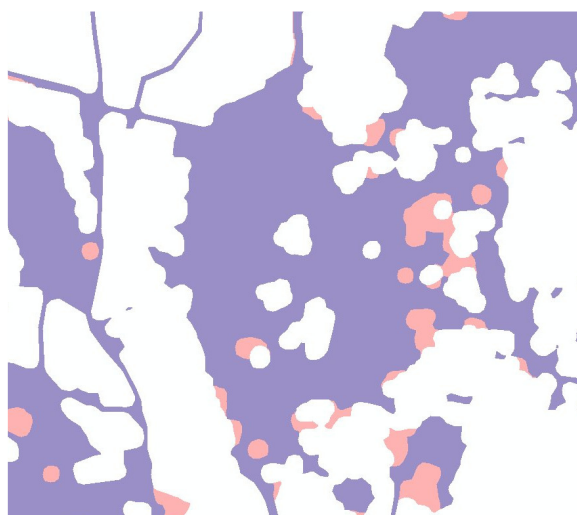


Image IRS 1997 (attention il s'agit ici de 2000)



Tache artificialisée 1997

Figure n°21 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 1997 et des images IRS (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez



Taches artificialisées 1997 et 2009

Figure n°22 : superposition des tache artificialisée toutes routes 1997 et 2009 – secteur Prades le Lez

3. Indicateurs – Analyse de la dynamique de consommation des terres à potentiel agronomique et de ses déterminants

3.1. Définitions et objectifs

3.1.1. Des indicateurs pour quoi faire ?

Depuis une cinquantaine d'années, l'utilisation d'indicateurs s'est généralisée à une grande partie de la société, tant dans le monde de la recherche et des politiques publiques que de la société civile. Ils sont désormais des outils de mesure, d'analyse et de suivi indispensables pour accompagner l'aide à la décision et appuyer la communication.

On retrouve souvent dans la littérature scientifique la définition donnée par l'OCDE (1990) selon laquelle **un indicateur** est « un paramètre, ou une valeur dérivée de paramètres, qui indique, fournit une information, décrit l'état d'un phénomène, d'un environnement, d'une zone, avec une signification qui s'étend au-delà de ce qui est directement associé à la valeur du paramètre ». La qualité première d'un indicateur est sa capacité à rendre compte de façon concise de phénomènes complexes. Il a une fonction de simplification et de quantification de la réalité pour la rendre compréhensible auprès d'un public ciblé. Les sources bibliographiques qui font références dans ce domaine (OCDE 1994, IFEN 1997, EEA 1999 cités par Salles 2001) insistent sur trois caractéristiques permettant de définir un indicateur : il constitue à la fois le produit d'un modèle (qui assure sa fiabilité, sa pertinence et sa mesurabilité), une synthèse explicite de l'information et un outil de communication.

Un **indicateur spatial** traduit un système géographique complexe en une information synthétique explicite, afin d'aider un utilisateur dans son action (prise de décision notamment). Il peut être restitué sous forme de valeurs chiffrées, de graphiques ou de cartes.

La demande initiale exprimée par la DRAAF comportait deux niveaux de préoccupations :

- un désir de **compréhension** pour contribuer à l'analyse globale des dynamiques à l'œuvre et sensibiliser à la perte d'un patrimoine agronomique ;
- une volonté d'**action** pour localiser rapidement les meilleures terres et conforter le discours des cadres locaux (Directions Départementales des Territoires et de la Mer) pour une meilleure prise en compte de la problématique agricole lors de l'élaboration des documents d'urbanisme.

La traduction de cette demande peut se résumer en trois types de besoins : approfondir les connaissances sur le patrimoine agronomique des sols à la fois qualitatives, quantitatives et spatiales ; identifier les facteurs d'artificialisation des terres et comprendre les processus en œuvre ; enfin, cibler les priorités pour aider la prise de décision mais également pour appuyer la communication et la sensibilisation en matière de perte d'un patrimoine agronomique.

Pour répondre aux besoins des acteurs il s'agissait de proposer des indicateurs permettant de mesurer et de suivre la consommation des sols par les espaces artificialisés, en fonction de leur potentiel agronomique à accueillir tous types de cultures. Cela passait au préalable par l'analyse et la compréhension des dynamiques territoriales à l'œuvre sur le territoire languedocien.

3.1.2. Produire un système d'indicateurs

Un système d'indicateurs regroupe un ensemble organisé d'indicateurs (Rondier, 2007). Comme le soulignent Joerin et al. (2005) « afin que les indicateurs puissent véritablement aider les décideurs dans la phase de formulation du problème, il semble nécessaire de passer d'un ensemble d'indicateurs, à un véritable système d'indicateurs, constituant en soi un modèle de la complexité territoriale ».

Ce type de méthode permet de dépasser l'approche classique des tableaux de bord et listes d'indicateurs sectoriels proposés par grandes thématiques. L'élaboration d'un système peut aussi permettre d'éviter les redondances et les lacunes en indicateurs. Une autre hypothèse est que la mise en place d'un système d'indicateurs peut permettre de gérer la pluralité des objectifs et les contradictions entre acteurs d'un projet d'aménagement territorial. Elle reprend notamment les travaux de Rondier qui proposent de développer ce type d'approche dans les démarches d'aide à la décision conduites avec des acteurs de terrain. « Le système d'indicateur constitue un outil qui favorise la négociation et doit donc tenir compte de la variété des points de vue des décideurs » (Rondier, 2007). La conséquence en est que le système d'indicateurs doit être conçu en reconnaissant non seulement les savoirs scientifiques mais également les savoirs véhiculés par les acteurs. Ainsi au cours de son élaboration, le système devient un objet intermédiaire, évoluant au fil de la construction d'une représentation globale et commune de la réalité du

système territorial. Il se trouve au cœur d'un processus d'apprentissage commun aux scientifiques et aux acteurs.

En résumé, le système d'indicateurs permet de conserver un certain niveau de complexité tout en offrant une représentation organisée et simplifiée de la réalité, accessible à l'ensemble des acteurs participants à son élaboration.

Nous ne détaillerons pas dans ce rapport la démarche conduite pour produire le système d'indicateurs. En effet il s'agit d'un travail plus conséquent mené en parallèle dans le cadre des travaux de recherches d'un doctorat⁶ de géographie qui a pour objectif de définir, d'expérimenter et d'évaluer une méthode de production d'un système d'indicateurs destiné à l'analyse des dynamiques de périurbanisation sur le littoral languedocien. Il s'agit d'une démarche conceptuelle qui ne présente pas d'intérêt à être présentée dans ce rapport à visée opérationnelle. En outre, le système élaboré dans le cadre du doctorat propose davantage d'indicateurs qui n'étaient pas tous spécifiquement destinés à répondre aux besoins des acteurs du projet. Nous explicitons tout de même de façon succincte la démarche entreprise puisqu'elle a influencé le choix des indicateurs délivrés aux acteurs. Le travail de concertation a permis d'enrichir les recherches de thèse par les connaissances et représentations du territoire languedocien véhiculées par les acteurs institutionnels.

3.2. Description de la démarche

3.2.1. Analyse des usages et besoins pour garantir la qualité des indicateurs

La qualité d'un indicateur fait appel, selon l'OCDE, à trois notions : la pertinence, la fiabilité et l'opérationnalité. Roth (Roth, 2002) parle d'acceptabilité. Ce dernier point nous rappelle que le choix d'un indicateur n'est pas neutre mais subjectif et que les indicateurs sont aussi des instruments politiques. Le système d'indicateurs ne sera utilisé et n'atteindra son but qu'à condition d'être accepté par l'ensemble des utilisateurs. Il doit d'abord être en adéquation avec la question que se posent les acteurs. L'acceptation dépend d'un processus d'appropriation qui naît d'un travail en partenariat (Offredi, 2005) qui va « construire » la pertinence du système d'indicateurs. Les acteurs vont réfléchir ensemble aux différentes dimensions du champ qu'implique la question, aux critères d'évaluation, donc de choix des indicateurs et à la pérennité de chaque indicateur. La légitimité d'un système d'indicateurs se construit ainsi au fur et à mesure du processus de conception où l'ensemble des parties concernées est impliqué.

Pour assurer la légitimité politique des indicateurs, et pour engager un processus de co-construction, nous avons pris l'option d'interroger les acteurs sur leurs pratiques au quotidien en termes d'indicateurs. Nous avons soumis, à différents utilisateurs⁷, une base de 21 indicateurs spatialisés développés dans la phase initiale du projet⁸. Cette base comprend des indicateurs d'état sur l'occupation et la qualité des sols et des indicateurs de pression sur la consommation des sols par les surfaces artificialisées. Chacun est décrit par une fiche synthétique (mode de calcul, détails techniques, analyse critique, interprétation, représentations).

La réflexion a porté sur la capacité de ces indicateurs à répondre aux besoins et usages en indicateurs des acteurs. Les enquêtes, ont pris la forme d'entretiens en groupes restreints (1 à 6 personnes). Ces entretiens ont permis de dresser un état de l'art des indicateurs utilisés et ont contribué à cibler les thématiques prioritaires pour les acteurs du monde agricole et du secteur de l'aménagement. Un autre produit a été d'identifier les critères d'évaluation des indicateurs, du point de vue des utilisateurs. Les résultats de ces entretiens individuels ont ensuite été rediscutés à l'occasion de tables rondes réunissant l'ensemble des acteurs. Cette discussion a également eu lieu lors d'une formation sur le développement territorial conduite auprès d'agents des services de l'Etat, où un atelier de travail sur l'élaboration d'indicateurs destinés au suivi du développement urbain a permis d'étoffer nos analyses.

⁶ Etude menée dans le cadre d'un doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace rattaché à l'école doctorale ED60 Territoires, Temps, Sociétés et Développement de l'Université Paul Valéry Montpellier III. Intitulé de la thèse : « Indicateurs spatiaux et changements d'occupation et d'utilisation du sol : application à la périurbanisation en zone méditerranéenne »

⁷ Agents des services Aménagement et gestion territoriale des DDTM des quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon, de la Direction des études territoriales du Conseil Général de l'Hérault et personnes œuvrant pour la planification territoriale au sein de plusieurs Établissement Public de Coopération Intercommunale (Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée, Communauté d'Agglomération de Montpellier, Syndicat Mixte du Bassin de Thau) et à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc-Roussillon.

⁸ Ces indicateurs ont été retenus à partir d'un inventaire bibliographique des indicateurs existants. Les données sources utilisées pour la production de ces indicateurs sont des données produites dans le cadre du projet (taches artificialisées, indice de qualité des sols) et des données complémentaires retenues comme pertinentes (statistiques sur le logement, la démographie, etc.).

3.2.2. Elaboration d'un modèle conceptuel systémique

Passer d'un ensemble d'indicateurs à un système d'indicateurs consiste à identifier les relations entre les indicateurs. Le modèle permet d'organiser les indicateurs dans un ensemble cohérent. La modélisation s'est donc révélée constituer une étape préalable indispensable à l'élaboration d'un système d'indicateurs.

Un modèle est « une représentation schématique de la réalité élaborée en vue d'une démonstration » (Hagget, 1977 in Ferras, 1993). Il permet de mettre en relief une logique d'organisation et constitue ainsi une aide à la lecture de la complexité des mécanismes qui produisent les territoires. En outre il permet de comparer des situations géographiques et historiques différenciées. Il permet donc a priori le changement d'échelle spatio-temporelle pour l'analyse des phénomènes. L'élaboration d'un modèle peut enfin être le support à des démarches "participatives" en étant un support à la co-construction d'une représentation partagée du système territorial.

Le modèle DPSIR, cadre d'analyse retenu

Pour bâtir le modèle conceptuel nous nous sommes appuyés sur un cadre d'analyse existant, le modèle DPSIR (*Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses* ; en français, FPEIR : Forces motrices, Pressions, Etats, Impacts, Réponses).

Le modèle DPSIR fixe un cadre à l'analyse des interactions entre la société et l'environnement. Proposé en 1998 par l'Agence Européenne de l'Environnement il a d'abord été développé pour répondre à des problématiques environnementales. Ce modèle est un développement du modèle PER (Pression, Etat, Réponse) de l'OCDE (1993).

Selon Tonneau et al. (Tonneau et al., 2009) un grand avantage du modèle DPSIR est de permettre de relier des indicateurs de natures différentes sans pour autant recourir à un système d'agrégation, ni disposer d'une connaissance parfaite des causalités à évaluer. Le modèle DPSIR organise la séquence suivante : les activités humaines (activités économiques, sociales, consommation, innovations technologies etc.) constituent les forces motrices du système étudié. Ces activités exercent des pressions notamment sur les compartiments environnementaux (Ex : en termes d'émissions de polluants). Par conséquent, l'état des compartiments environnementaux (l'air, l'eau, le sol, les habitats, les espèces) est affecté (Ex : en termes de concentrations de polluants). En aval, ces changements de l'état des compartiments environnementaux induisent des impacts sur la santé des êtres vivants (hommes, flore et faune) et des systèmes de ressources, ainsi que des impacts économiques. En considérant le profil de ces différentes catégories, et particulièrement celui des impacts, des réponses correctives de la société sont élaborées et mises en œuvre. Qu'elles soient de nature réglementaire, économique ou volontaire, elles influencent à leur tour la configuration du système.

Le modèle DPSIR n'est pas stabilisé et l'on retrouve dans la littérature de nombreux cas divers de son application. Nous disposons ainsi d'une marge de manœuvre relative pour son adaptation.

Adaptation du modèle DPSIR

Pour adapter ce cadre théorique nous nous sommes notamment appuyés sur des travaux réalisés par le CERTU (SESP, CERTU, 2006). Les **forces motrices** sont considérées comme les évolutions structurelles (économiques et sociales) extérieures au système mais influençant celui-ci dans ses évolutions dynamiques. Ces forces motrices produisent des **pressions**, c'est-à-dire un ensemble de transformations qui s'exercent directement sur le **système territorial**. En effet, plutôt que de parler d'état environnemental nous faisons le choix de considérer l'ensemble des dimensions (environnementales mais également sociales et économiques) qui caractérisent un système territorial. Ce dernier est décrit par un **capital** (niveau de ressources environnementales et foncières) mais également par un **système d'activités**, entendu comme les forces productives du système et des **impacts** (environnementaux, sociaux et économiques) qui sont les variations induites du capital et du système d'activités. Les **réponses** sont les mesures publiques ou comportements privés adoptés en réponse à la variation du système territorial. Elles se répercutent de façon positive ou négative en termes de pressions, directement ou indirectement sur le système territorial et dans une moindre mesure en termes de forces motrices.

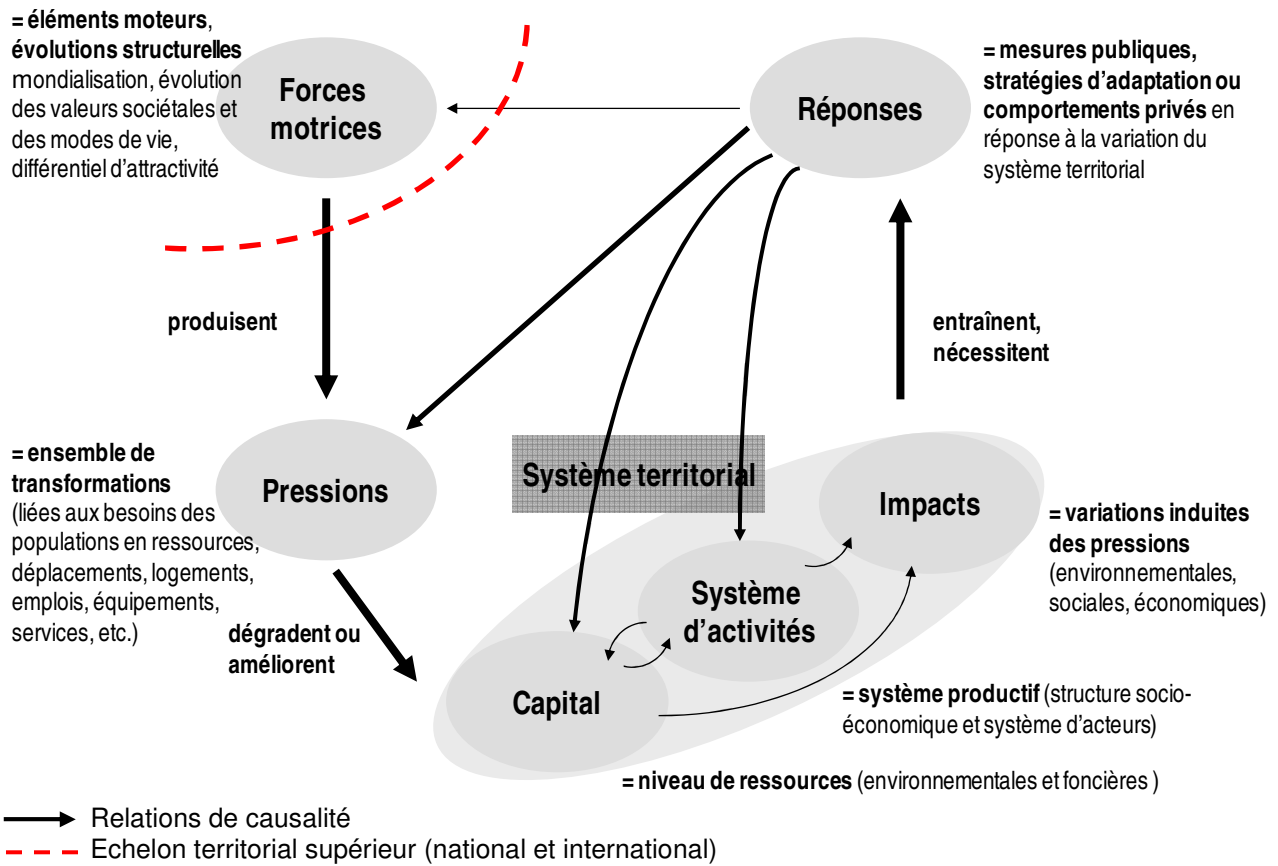


Figure n°23 : adaptation du cadre théorique DPSIR

Nous avons ensuite repris les principaux éléments du modèle pour décrire les dynamiques territoriales de distribution du peuplement et des activités à l'échelle du territoire languedocien, travail que nous avons choisi de ne pas présenter dans ce rapport. Acteurs et chercheurs se sont ensuite attachés à décliner le modèle pour analyser plus spécifiquement les dynamiques de consommation des terres par l'artificialisation.

3.2.3. Passage d'un modèle explicatif à un système d'indicateurs d'aide à la décision

Déclinaison des relations de causalité

Pour passer d'un modèle explicatif des dynamiques territoriales à un système d'indicateurs d'aide à la décision nous avons d'abord élaboré un graphe causal détaillé qui reprend les éléments du modèle conceptuel défini avec les acteurs. Chacune des relations de causalité ont ainsi été déclinées et explicitées. La figure ci-dessous reprend le graphe causal général appliqué à la problématique de l'étude objet de ce rapport.

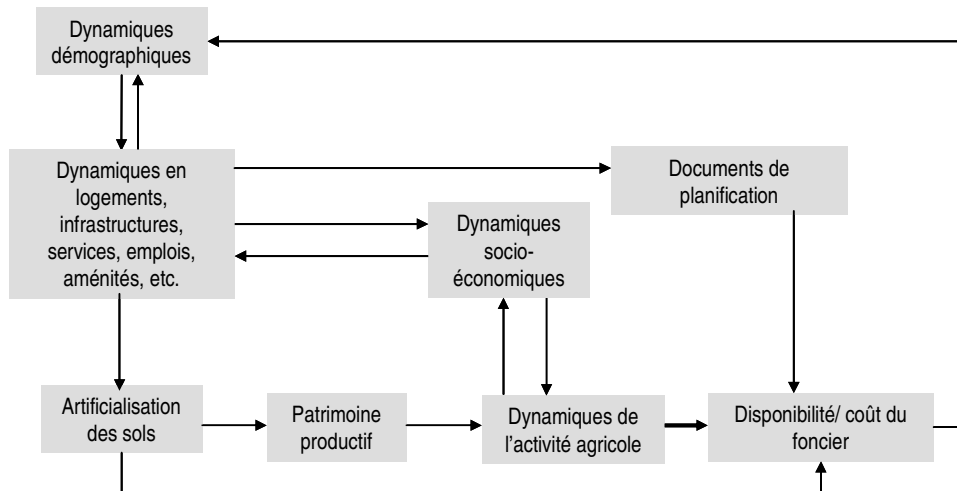


Figure n°24 : graphe causal général

En reprenant chacune des relations de causalité, acteurs et chercheurs se sont attachés à sélectionner un ensemble d'indicateurs les plus représentatifs pour les qualifier.

Choix des indicateurs

La sélection des indicateurs a pu être affinée à l'issue de la phase d'évaluation du premier jet d'indicateurs soumis aux utilisateurs potentiels, conduite de novembre 2008 à juillet 2009 (Cf. 3.2.1.). La contrainte des données disponibles a ensuite restreint le choix des indicateurs. Au final l'essentiel des indicateurs retenus se décline en indicateurs de pression, d'état et de variation du système territorial sous l'effet des transformations liées aux processus d'artificialisation des sols.

3.3. Indicateurs retenus (délivrés aux acteurs)

3.3.1. Informations techniques

Pour la production des indicateurs fournis aux acteurs trois types de données ont été mobilisés :

- l'Indice de Qualité des Sols couvrant le Languedoc-Roussillon produit par l'UMR LISAH,
- les taches artificialisées 1997 (couvrant les 4 départements littoraux du Languedoc-Roussillon et le sud de la Lozère) et 2009 (couvrant le Languedoc-Roussillon) produites par l'UMR TETIS,
- les recensements de population 1999 et 2007 du Languedoc-Roussillon produits par l'INSEE⁹.

Chaque indicateur peut être décliné à différentes mailles d'analyse (région, départements, cantons, zonage en aires urbaines et communes).

La carte ci-dessous illustre le découpage régional en fonction du zonage en aires urbaines de l'INSEE selon les résultats issus du recensement de 1999. Cette carte a valeur d'information pour permettre au lecteur de localiser les aires urbaines de la région auxquelles nous faisons référence par la suite. Les définitions des différentes catégories du zonage en aires urbaines sont les suivantes :

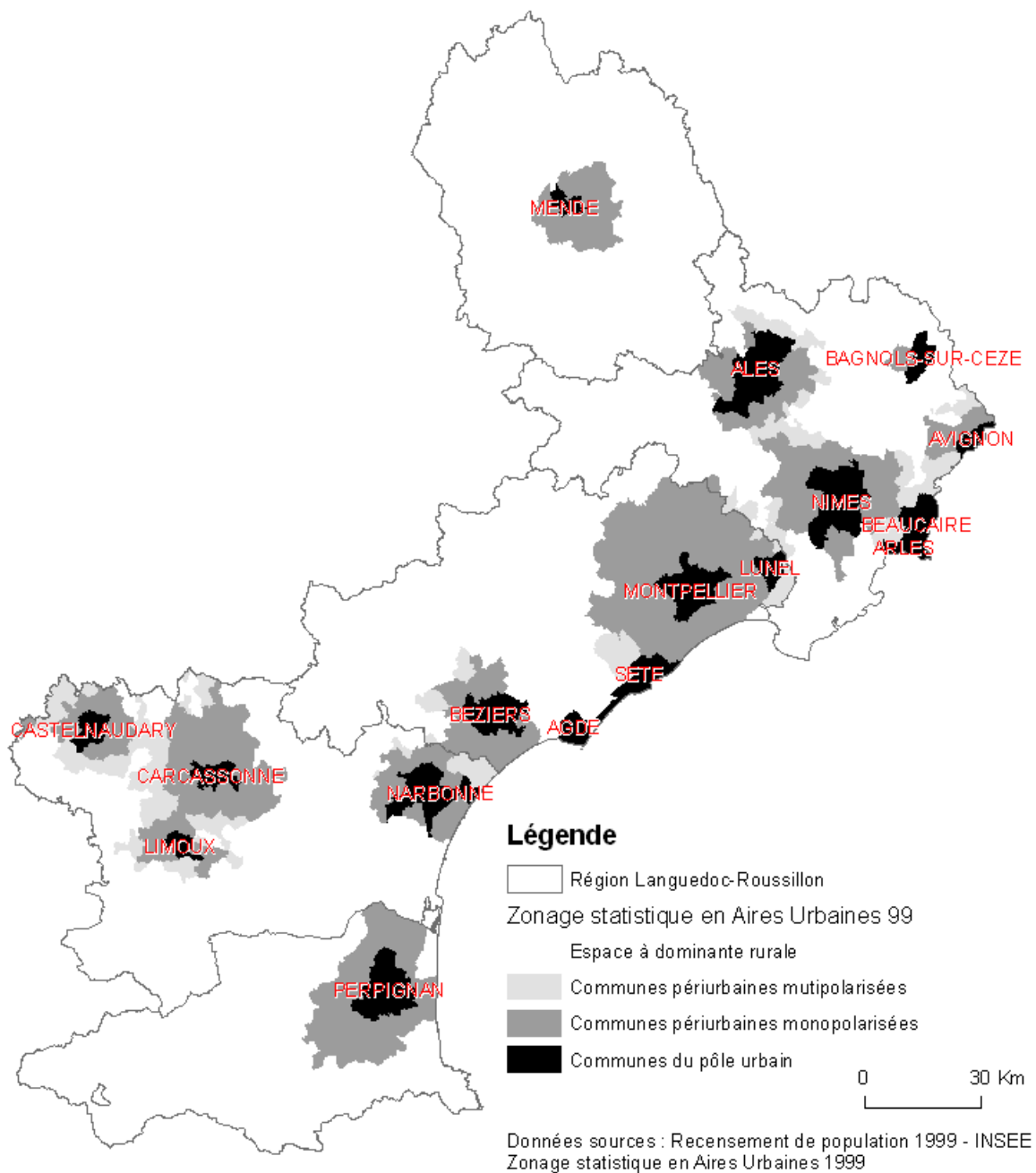
- espace à dominante rurale (ou espace rural) = ensemble des communes rurales et unités urbaines n'appartenant pas à l'espace à dominante urbaine,
- espace à dominante urbaine (ou espace urbain) = ensemble, d'un seul tenant, de plusieurs aires urbaines et des communes multipolarisées qui s'y rattachent. Dans l'espace à urbain multipolaire, les aires urbaines sont soit contiguës, soit reliées entre elles par des communes multipolarisées. Cet espace forme un ensemble connexe. Un espace urbain composé d'une seule aire urbaine est dit monopolaire.
- aire urbaine = ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain et par des communes rurales ou unités urbaines dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle urbain ou dans des communes attirées par celui-ci.
- pôle urbain = unité urbaine offrant 5000 emplois ou plus et n'appartenant pas à la couronne périurbaine d'un autre pôle urbain,
- couronnes périurbaines = ensemble des communes de l'aire urbaine à l'exclusion de son pôle urbain,
- communes multipolarisées = communes rurales et unités urbaines situées hors des aires urbaines dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles, et qui forment avec elles un ensemble d'un seul tenant.

⁹ INSEE Résultats du recensement de la population 2007

<http://www.recensement.insee.fr/home.action>

INSEE Recensement de la population Mars 1999 Les résultats

http://www.recensement-1999.insee.fr/RP99/rp99/page_accueil.paccueil



Carte n°1 : zonage en aires urbaines de l'INSEE du Languedoc-Roussillon en 1999

3.3.2. Synthèse des indicateurs spatiaux proposés

Les premiers indicateurs proposés se basent sur l'exploitation des données sources produites dans le cadre du projet, les taches artificialisées 1997 et 2009 et la qualification du potentiel agronomique des sols. Les taches artificialisées permettent de mesurer la superficie des espaces artificialisés à un instant t (1997 et 2009) en valeur absolue mais également en valeur relative pour considérer la part que représentent les espaces artificialisés par rapport à la superficie de la zone étudiée. Les taches artificialisées produites à deux dates suffisamment éloignées permettent également de suivre l'accroissement de l'artificialisation des sols dans le temps. A chaque fois ces indicateurs ont été calculés avec les trois types de taches (sans routes, grandes routes et toutes routes) afin de considérer l'influence des infrastructures routières dans la mesure et le suivi des espaces artificialisés. Le potentiel agronomique des sols permet de mesurer la superficie initiale des différentes Classes de Potentialité Agronomique des Sols (CPAS) avant toute artificialisation en valeur absolue mais également en valeur relative pour considérer la part qu'elles représentent par rapport à la superficie de la zone d'étude.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Artificialisation des sols					
Degré d'artificialisation des sols	Quantifier le phénomène d'artificialisation	Superficie (ha) des espaces artificialisés en 1997	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Taches Artificiales
		Part (%) des espaces artificialisés en 1997 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
		Superficie (ha) des espaces artificialisés en 2009		Région entière	Taches Artificiales
		Part (%) des espaces artificialisés en 2009 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
Variation du degré d'artificialisation des sols	Suivre le phénomène d'artificialisation	Variation de la superficie (ha) des espaces artificialisés entre 1997 et 2009	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Taches Artificiales
		Evolution (%) de la superficie des espaces artificialisés entre 1997 et 2009			
Patrimoine agronomique des sols initial					
Potentiel agronomique des sols	Localiser et quantifier les sols en fonction de leur potentiel agronomique	Superficie (ha) des espaces par Classe de Potentiel Agronomique des Sol (CPAS)	Région, Départements, Cantons, Communes	Région entière	Potentiel Agronomique des Sols
		Part (%) des espaces par CPAS par rapport à la superficie totale de la zone d'étude			

Tableau n°1 : indicateurs d'artificialisation et de potentialité agronomiques des sols

Le croisement de ces deux informations de base permet de considérer l'état de la consommation des terres par les espaces artificialisés à un instant t en fonction de leur potentiel agronomique et l'évolution de cette superficie consommée entre deux dates. Les indicateurs proposés permettent donc de quantifier et de suivre, pour chaque classe de potentiel agronomique des sols, la superficie perdue par artificialisation et celle restante. A chaque date on peut mesurer ce que représentent ces superficies par rapport à la superficie de la zone d'étude mais également par rapport à l'ensemble des espaces artificialisés et par rapport à la superficie initiale des classes de potentiel agronomique des sols.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Patrimoine agronomique des sols non artificialisé					
Patrimoine agronomique des sols non artificialisé	Localiser et quantifier les sols non artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Superficie (ha) des espaces non artificialisés par CPAS en 1997	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols - Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie de la CPAS initiale			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces non artificialisés en 1997			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie totale de la zone d'étude			
		Superficie (ha) des espaces non artificialisés par CPAS en 2009		Région entière	Potentiel Agronomique des Sols - Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie de la classe de PAS initiale			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces non artificialisés en 2009			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie totale de la zone d'étude			
Variation du patrimoine agronomique des sols non artificialisé	Suivre les sols non artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Variation de la superficie (ha) des espaces non artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols - Taches Artificialisées
		Evolution (%) des espaces non artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009			
Patrimoine agronomique des sols artificialisé					
Patrimoine agronomique des sols artificialisé	Localiser et quantifier les sols artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Superficie (ha) des espaces artificialisés par CPAS en 1997	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols + Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie de la CPAS initiale			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces artificialisés en 1997			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
		Superficie (ha) des espaces artificialisés par CPAS en 2009		Région entière	Potentiel Agronomique des Sols + Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie de la CPAS initiale			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces artificialisés en 2009			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
Variation du patrimoine agronomique des sols artificialisé	Suivre les sols artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Variation de la superficie (ha) des espaces artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols + Taches Artificialisées
		Evolution (%) des espaces artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009			

Tableau n°2 : indicateurs de perte d'un potentiel agronomique des sols par artificialisation

L'importance des dynamiques démographiques permet de considérer l'attractivité du territoire et ainsi l'un des éléments moteurs favorisant l'accroissement des espaces artificialisés. Une augmentation de la population entraîne un accroissement des besoins en logements mais également en infrastructures routières, en zones de loisirs, en zones commerciales et en zones d'emplois. Les deux derniers

recensements de population produits par l'INSEE datent de 1999 et 2007. Les soldes migratoires et naturels entre les deux dates apportent des éléments de précision sur l'attractivité et la structure de population représentative de la zone étudiée. Un solde migratoire important révèle un flux de population entrant conséquent qui traduit une forte attractivité. Un solde naturel élevé indique une forte proportion de couples avec enfants, etc.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Dynamiques de population					
Démographie	Mesurer l'importance de la population	Nombre d'habitants en 1999	Région, Départements, Cantons, Communes	Région entière	Recensements de population 1999 et 2007
		Nombre d'habitants en 2007			
Dynamisme démographique	Suivre l'attractivité du territoire	Variation (nbre hab) du nombre d'habitants entre 1999 et 2007	Région, Départements, Cantons, Communes	Région entière	Recensements de population 1999 et 2007
		Evolution (%) du nombre d'habitants entre 1999 et 2007			
		Solde naturel entre 1999 et 2007			
		Solde migratoire entre 1999 et 2007			
		Taux de croissance démographique (%) lié au solde naturel entre 1999 et 2007			
		Taux de croissance démographique (%) lié au solde migratoire entre 1999 et 2007			

Tableau n°3 : indicateurs de dynamiques démographiques

Les dates des recensements de population (1999 et 2007) sont différentes de celles des taches artificialisées (1997 et 2009), cependant elles sont suffisamment rapprochées pour croiser les deux informations et en tirer des analyses. La densité nette constitue un indicateur pertinent pour considérer les dynamiques d'étalement des espaces artificialisés. Ce calcul porte sur le rapport de l'effectif de population non plus à la superficie totale de la zone étudiée, dite superficie brute, mais à la superficie artificialisée. Cela permet de considérer grossièrement la compacité des espaces artificialisés et leurs dynamiques d'étalement ou de densification entre deux dates.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Densité nette (habitants par ha artificialisé)					
Importance de la population par rapport aux espaces artificialisés	Mesurer le nombre d'habitant rapporté à la superficie artificialisée et de la zone d'étude	Densité brute de population (nbre d'hab par hectare de la zone d'étude) en 1999	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Densité nette de population (nbre d'hab par ha artificialisé) en 1999		Région entière	
		Densité brute de population (nbre d'hab par hectare de la zone d'étude) en 2007			
		Densité nette de population (nbre d'hab par ha artificialisé) en 2007			
Dynamiques démographiques et dynamiques d'artificialisation	Suivre le nombre d'habitant rapporté à la superficie artificialisée	Variation (nbre d'hab par ha artificialisé) de la densité nette de population entre 1999 et 2007	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Evolution (%) hab par ha artificialisé) de la densité nette de population entre 1999 et 2007			
Inverse de la densité nette (m² artificialisée par habitant)					
Importance de l'artificialisation par habitant	Mesurer la superficie artificialisée par habitant	Superficie artificialisée par habitant (m ² /hab) en 1999 (inverse de la densité nette)	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Superficie artificialisée par habitant (m ² /hab) en 2007 (inverse de la densité nette)		Région entière	
Dynamiques démographiques et dynamiques d'artificialisation	Suivre la superficie artificialisée par habitant	Variation (m ² par hab) superficie artificialisée entre deux dates par habitant supplémentaire entre 1999 et 2007	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Evolution (% de m ² par hab) superficie artificialisée entre deux dates par habitant supplémentaire entre 1999 et 2007			

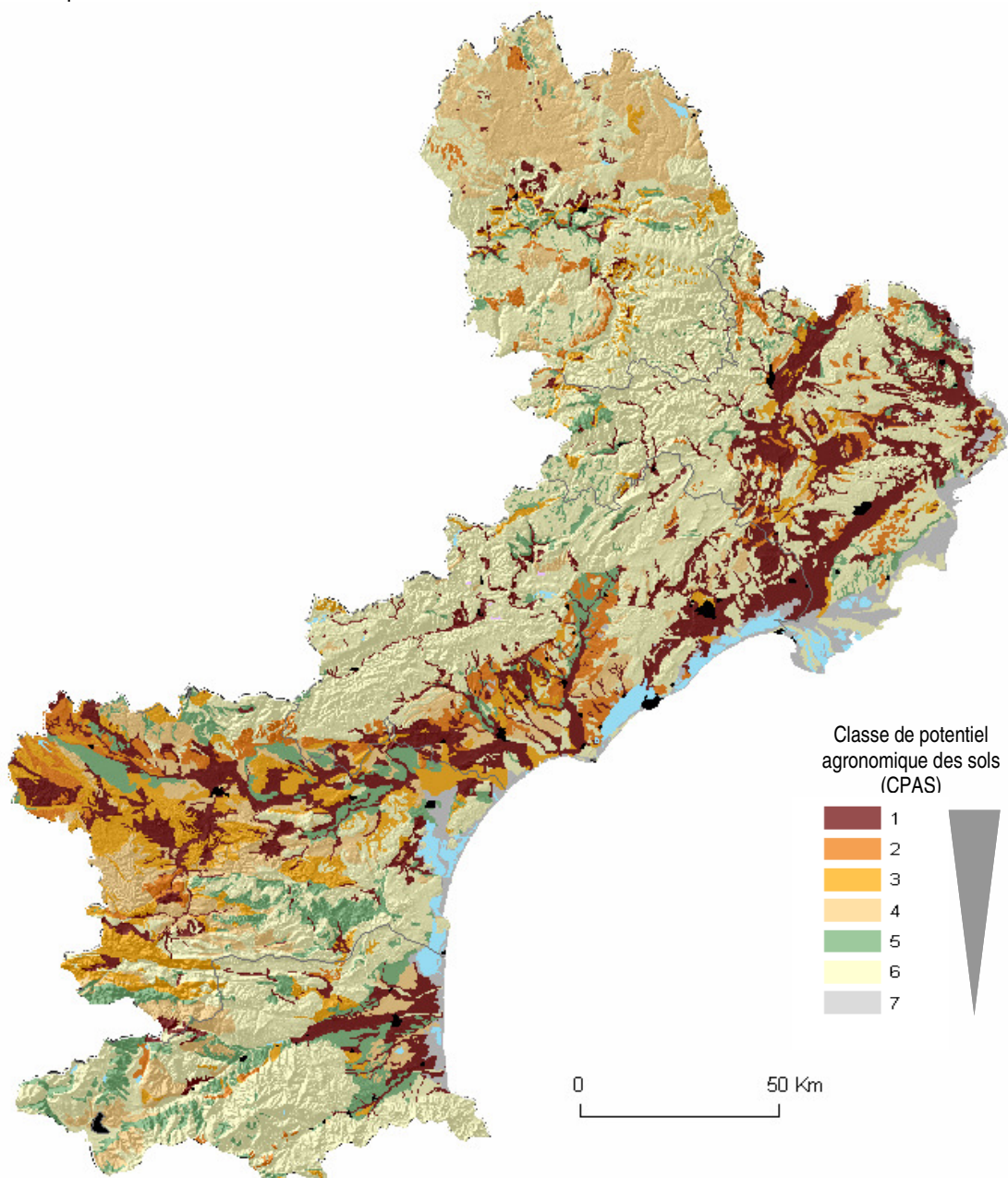
Tableau n°4 : indicateurs croisant dynamiques démographiques et artificialisation des sols

Albert et al. (2008) vont plus loin en proposant le calcul d'autres types de densités basées sur l'exploitation de données complémentaires (nombre de logements, nombre d'emploi, etc). Ils différencient ainsi par exemple la densité résidentielle qui correspond à la densité brute de logements (nombre de logements/superficie communale) et la densité d'habitat qui correspond à la densité nette de logements (nombre de logements/superficie artificialisée). Des indicateurs complémentaires de ce type ont été calculés dans les travaux conduits en parallèle dans le cadre du doctorat de géographie évoqués précédemment (Cf. 3.1.2). Ils se basent sur l'exploitation de la tache artificialisée et non de la tache urbaine comme c'est le cas dans la majorité des études existantes.

3.4. Principaux résultats à l'échelle régionale et départementale

3.4.1. Distribution des types de sols en fonction de leur potentiel agronomique

La figure ci-dessous présente une interprétation possible de l'Indice de Qualité des Sols à l'échelon régional (Cf. annexe n°4). Elle s'appuie sur un gradient numérique de 1 (sols de haute valeur agronomique) à 7 (sols de faible valeur agronomique). La réserve utile des sols a été considérée comme un critère déterminant du fait de l'irrégularité de l'approvisionnement en eau duquel dépend l'agriculture en Languedoc-Roussillon. C'est donc une classification essentiellement basée sur la capacité des sols à stocker l'eau qui a été retenue.



Carte n°2 : exemple de classification en classes de potentiel agronomique des sols (CPAS) selon un gradient de réserve utile dans les unités cartographiques des sols (par ordre décroissant)

Quelques éléments de lecture et d'interprétation de cette nomenclature

Les Unités Cartographiques de Sol (UCS) permettent de spatialiser l'IQS par agrégation. Une nomenclature simplifiée de la donnée produite par l'UMR LISAH a été proposée par l'équipe de l'UMR TETIS. Elle s'appuie sur une hiérarchisation en 7 classes de potentiel agronomique des sols qui se base sur un regroupement des UCS en fonction de leur proportion d'IQS 1.

- Les classes 1 et 2 regroupent les UCS qui ont une proportion de sols d'IQS 1 supérieure à 50% donc celles qui sont représentées par les meilleurs sols.
- Les classes 3 et 4 regroupent les UCS qui ont une proportion de sols d'IQS 1 supérieure à 10 % mais inférieure à 50%, donc celles représentées par une majorité de sols médiocres.
- Les classes 5 et 6 regroupent les UCS qui ont une proportion de sols d'IQS 1 très faible voir nulle (<10%), donc celles représentées par une majorité de sols à faibles potentialités agronomiques.
- La classe 7 regroupe les UCS dont les sols sont principalement salins donc impropres à tous types de culture.

Réserve utile en eau	Supérieure à 125 (mm)	Entre 75 et 125 (mm)	Inférieure à 75 (mm)	Sols salins
Classe de potentiel agronomique des sols	%surface IQS1 / UCS	%surface IQS 2 / UCS	%surface IQS 3 / UCS	%surface IQS 4 / UCS
0	Non déterminé	Non déterminé	Non déterminé	Non déterminé
1	70-100	0-30	0-30	0-5
2	50-70	0-50	0-50	0-50
3	30-50	0-70	0-70	0-60
4	10-30	0-90	0-90	0-90
5	0-10	50-100	0-50	0
6	0-10	0-50	50-100	0-20
7	0	0	0-35	65-100

Tableau n° 5 : composition des classes de potentiel agronomique

La hiérarchisation de l'Indice de Qualité des Sols en trois classes (IQS 1, 2 et 3) se base principalement sur l'importance de la réserve utile des sols. Une quatrième classe (IQS 4) représente une contrainte « absolue » qui discrédite entièrement le potentiel du sol lorsqu'elle existe. Il s'agit de la présence de salinité.

- L'IQS 1 concerne les sols qui ont une réserve utile supérieure à 125 mm considérés par ce classement comme les meilleurs sols pour accueillir tous types d'usages agricoles.
- L'IQS 2 concerne les sols qui ont une réserve utile inférieure à 125 mm mais supérieure à 75 mm considérés comme médiocres.
- L'IQS 3 concerne les sols qui ont une réserve utile inférieure à 75 mm considérés comme mauvais.
- L'IQS 4 concerne les sols salins considérés comme impropres à tous types d'usages agricoles.

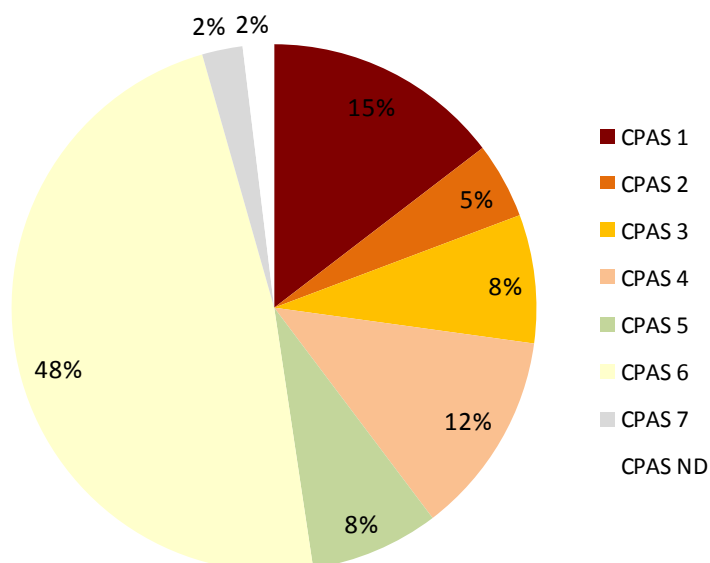


Figure n°25 : part initiale des classes de potentiel agronomique des sols par rapport à la superficie régionale

La figure 25 page précédente illustre la part de chacune des CPAS rapportée à la superficie de la région. Avant toute artificialisation la répartition des classes de potentiel agronomique des sols fait apparaître une forte proportion de sols à faibles potentialités agronomiques, 48 % des sols appartiennent à la classe 6, soit environ la moitié de la superficie régionale. Les sols à hautes potentialités agronomiques représentent respectivement 15 % et 5 % pour les classes 1 et 2, soit environ 1/5ème de la superficie régionale.

Départements	CPAS 1	CPAS 2	CPAS 3	CPAS 4	CPAS 5	CPAS 6	CPAS 7	CPAS ND
Aude	104966	36479	140928	109302	84014	135383	12017	9685
Gard	133378	32778	18613	9466	26972	318977	36290	9661
Hérault	112888	41788	24371	35415	24292	349500	11708	22822
Lozère	16680	13546	22923	152923	19354	289557	0	1679
Pyrénées-Orientales	37738	5244	11340	40440	65617	238059	8581	6474
Languedoc-Roussillon	405651	129835	218175	347546	220248	1331476	68596	50322

Tableau n°6 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département

Le schéma ci-dessous propose de restituer la distribution initiale de la superficie (en ha) des classes de potentiel agronomique des sols par département.

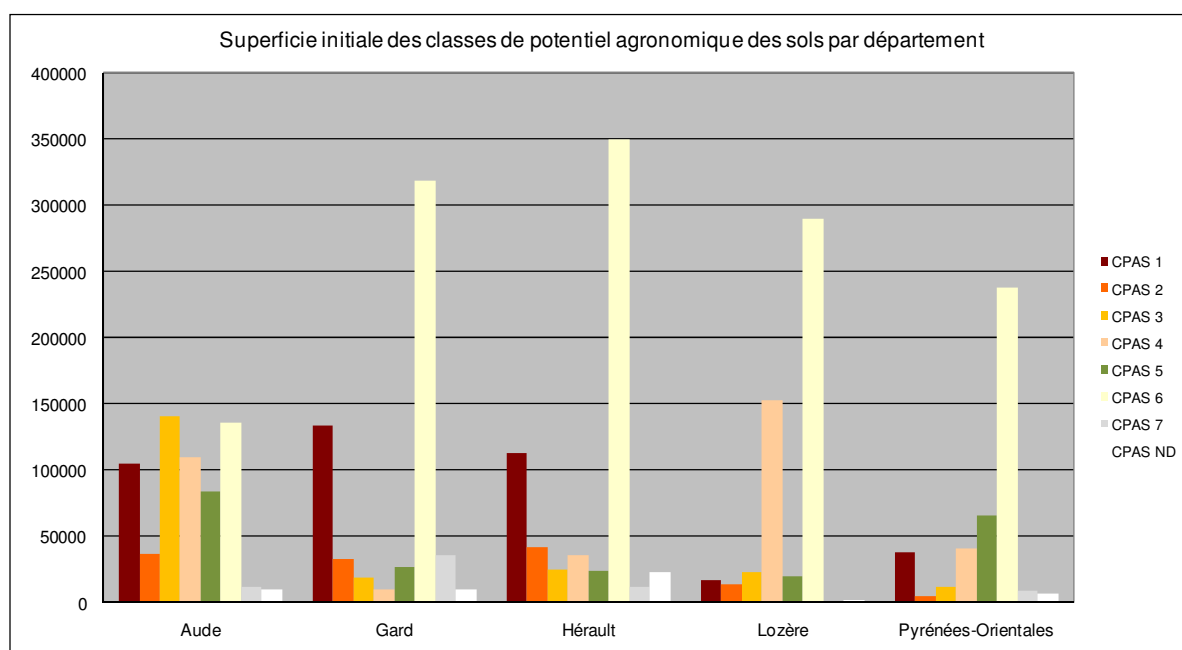
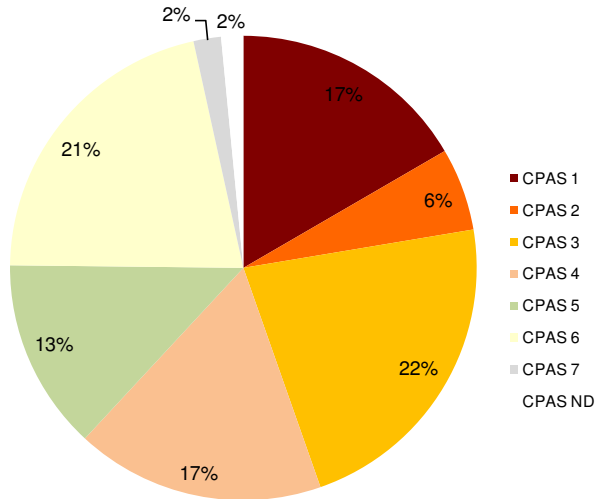


Figure n°26 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département

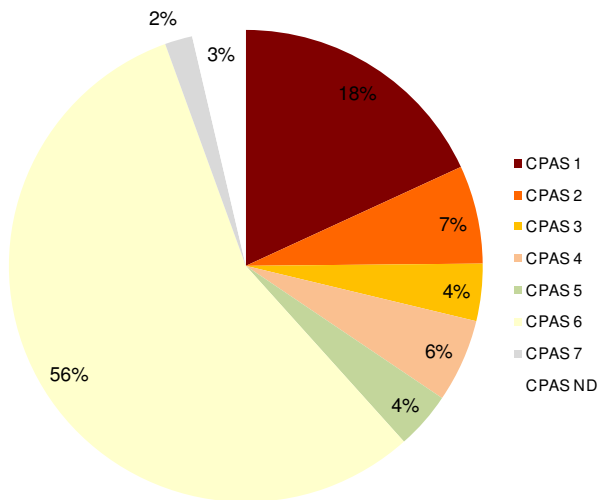
Le Gard, l'Hérault et l'Aude sont les mieux pourvus en sols de fortes potentialités agronomiques, environ 20 % de la superficie départementale. Pourtant nous verrons que ce sont le Gard et l'Hérault qui subissent les plus fortes dynamiques d'artificialisation entre 1997 et 2009. La Lozère et les Pyrénées-Orientales possèdent peu de bons sols, respectivement 3 % et 9 % de la superficie départementale. Les sols de faibles potentialités agronomiques occupent plus de 50 % de la superficie des départements du Gard, de l'Hérault, de la Lozère et des Pyrénées-Orientales. Ce dernier est particulièrement mal pourvu en bons sols, puisque les classes 5 et 6 représentent 74 % de la superficie départementale.

La figure 27 page suivante illustre ces mêmes résultats en valeurs relatives et sous forme de camemberts.

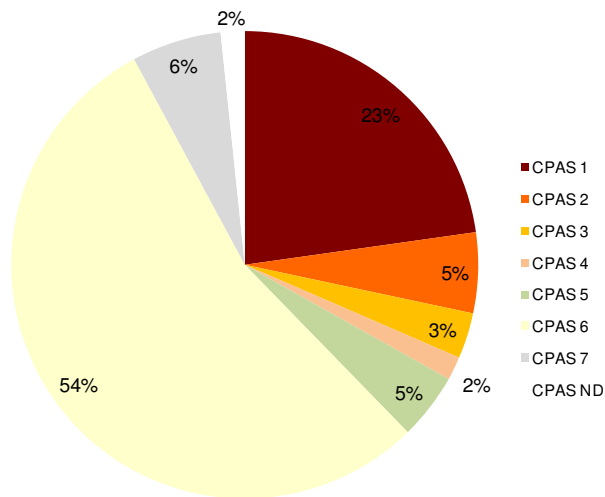
Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie de l'Aude



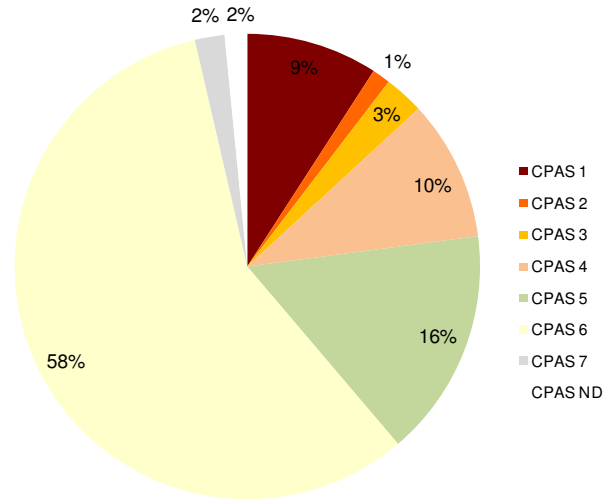
Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie de l'Hérault



Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie du Gard



Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie des Pyrénées-Orientales



Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie de la Lozère

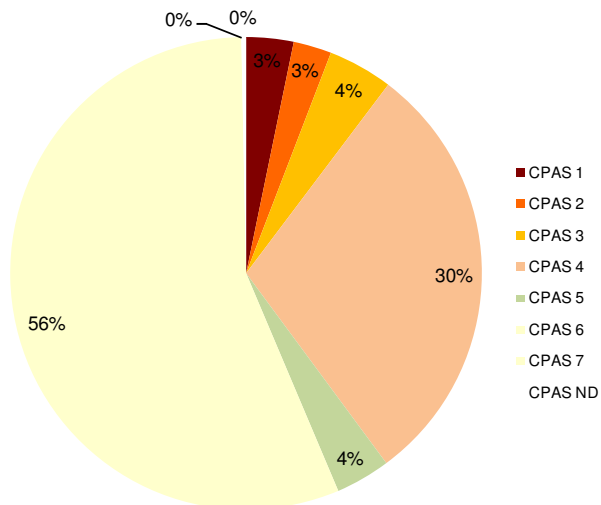
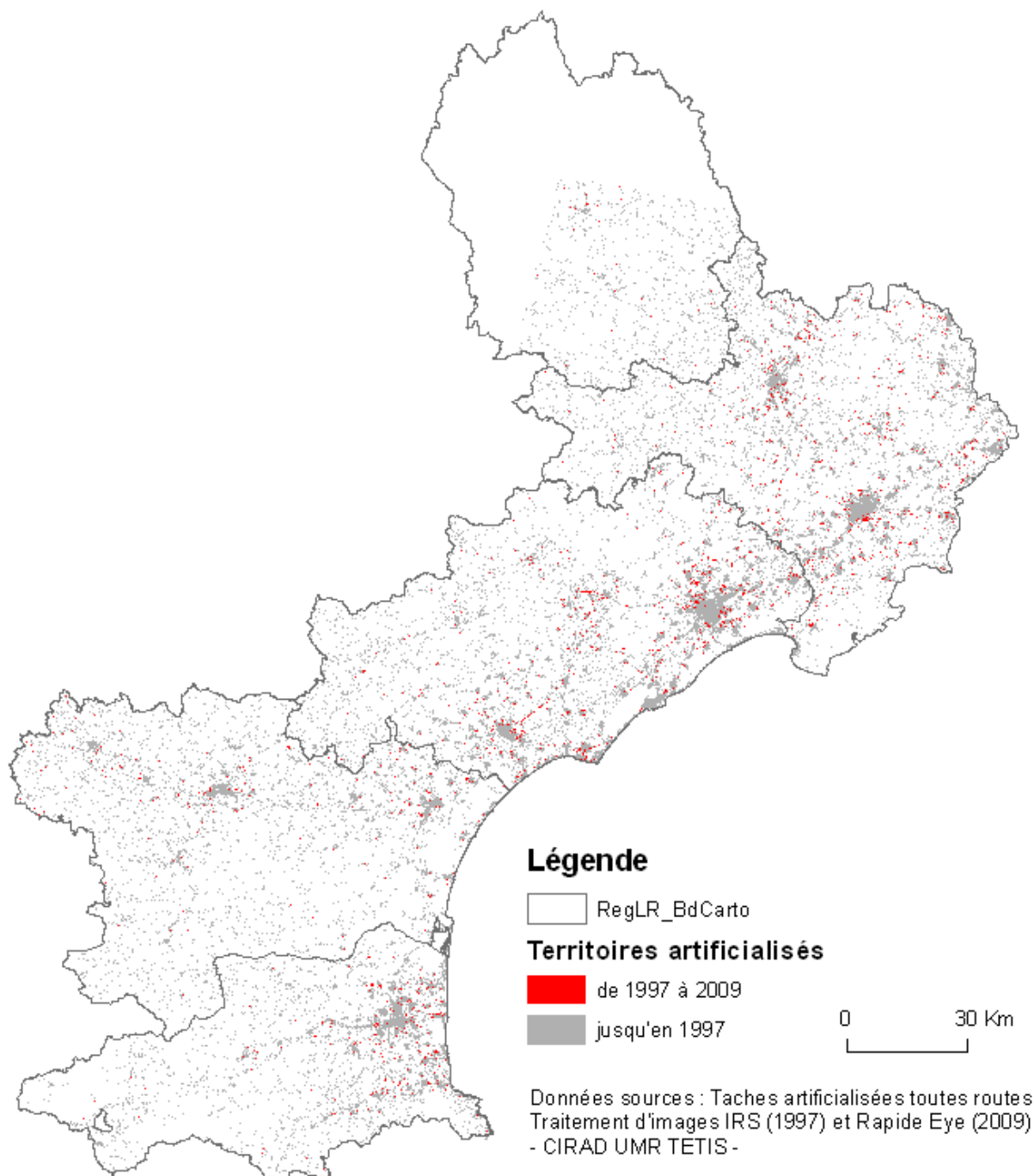


Figure n°27: part des CPAS / superficie départementale

3.4.2. Progression de l'artificialisation

La carte ci-dessous illustre la progression des taches artificialisées de 1997 à 2009 à l'échelle des 4 départements littoraux du Languedoc-Roussillon et du sud de la Lozère. Pour le calcul des indicateurs nous avons considéré uniquement les 4 départements littoraux afin de pouvoir fournir des éléments chiffrés de comparaison entre départements.



Carte n°3 : taches artificialisées toutes routes 1997 et 2009

	Superficie en ha			Part (%) / superficie de la zone d'étude		Taux d'évolution (%) 97-09
	1997	2009	Chgts 97-09	1997	2009	
Espaces artificialisés toutes routes	242396	261707	19311	10,7	11,6	8,0
Espaces artificialisés grandes routes	127017	146816	19800	5,6	6,5	15,6
Espaces artificialisés sans routes	113469	133280	19811	5,0	5,9	17,5

Superficie de la zone d'étude : 2 264 454 ha

Tableau n°7 : évolution des différents types de taches artificialisées de 1997 à 2009 à l'échelle des 4 départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)

Si l'on considère les trois types de taches artificialisées (Cf. 2.3.3.) les changements d'occupation du sol en faveur de l'artificialisation entre 1997 et 2009 représentent presque 20.000 hectares, soit 0,8.% de la superficie des 4 départements littoraux.

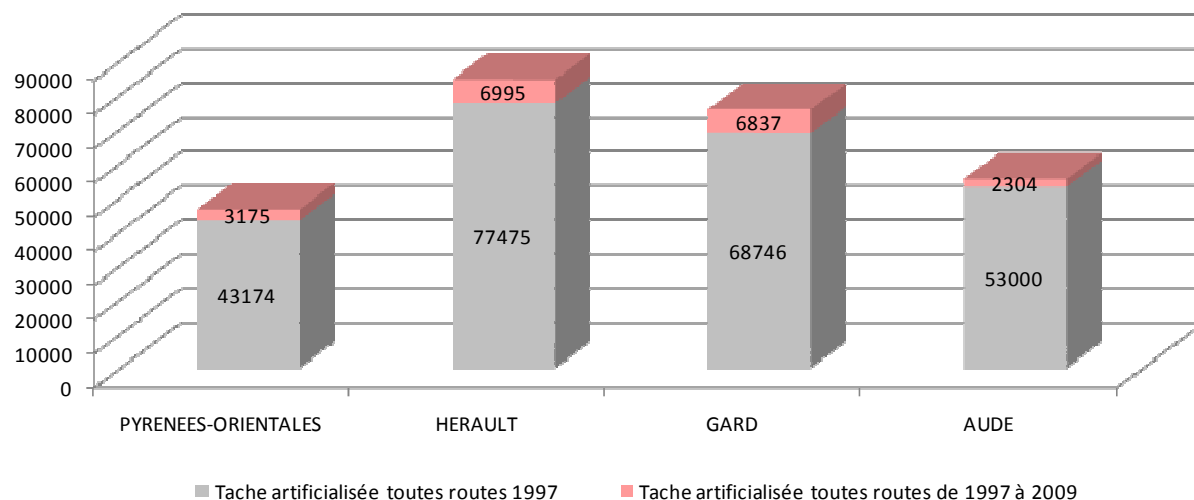
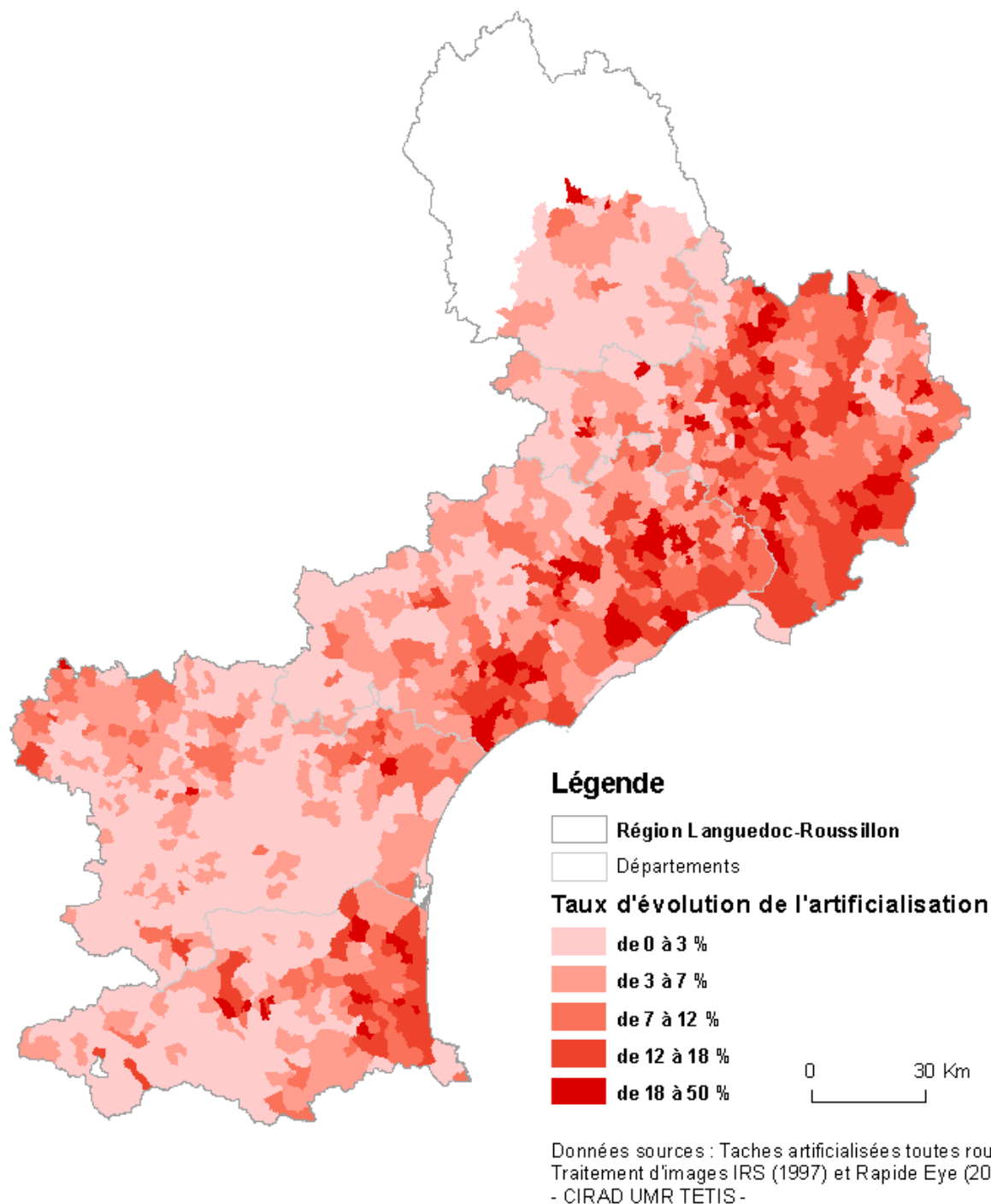


Figure n°28 : taches artificialisées toutes routes en 1997 et de 1997 à 2009 en hectares

Si l'on s'intéresse par exemple à la tache artificialisée toutes routes ce sont les départements de l'Hérault et du Gard qui sont les plus concernés par l'accroissement des superficies artificialisées entre 1997 et 2009 avec un taux d'évolution respectif de 9 et 10 %, soit environ 7000 hectares artificialisés en plus dans chacun des deux départements. Le département de l'Aude apparaît moins touché par ce phénomène avec un taux d'évolution de 4,3 % de la superficie artificialisée soit une perte de 2300 hectares. Quant au département des Pyrénées-Orientales il subit tout de même une évolution de 7,4 % des espaces artificialisés qui représentent 11 % de la surface départementale en 2009.

Départements	Superficie en ha				Part (%) / superficie de la zone d'étude		Taux d'évolution (%) 97-09
	1997	2009	chgts 97-09	1997	2009		
Pyrénées-Orientales	416139	43174	46349	3175	10,4	11,1	7,4
Hérault	624789	77475	84470	6995	12,4	13,5	9,0
Gard	588826	68746	75583	6837	11,7	12,8	9,9
Aude	634700	53000	55304	2304	8,4	8,7	4,3
4 départements littoraux	2264454	242396	261707	19311	10,7	11,6	8,0

Tableau n°8 : évolution de la tache artificialisée toutes routes de 1997 à 2009 pour chacun des départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)



Carte n°4 : évolution de l'artificialisation de 1997 à 2009

La carte ci-dessus permet d'observer une forte différenciation régionale. L'est et le littoral sont particulièrement dynamiques en termes d'artificialisation, l'ouest et l'arrière-pays connaissent des dynamiques plus modérées. Les plus forts taux d'artificialisation de 1997 à 2009 concernent les aires urbaines dynamiques de la région et le territoire en cours de métropolisation reliant Sète à Alès polarisé par la métropole montpelliéraine (Cf. Carte n°1). Le Gard et l'Hérault sont donc les départements les plus marqués par l'accroissement des superficies artificialisées. Comme nous l'avons vu (Cf. 3.4.1.) ce sont également ceux qui possèdent la plus forte proportion de sols de haute potentialité agronomique. Les résultats issus du croisement du potentiel agronomique avec les taches artificialisées décrits pages suivantes confirment cette tendance.

3.4.3. Artificialisation des sols par classe de potentiel agronomique des sols

Les résultats rapportés ci-dessous proposent de quantifier l'artificialisation des sols en fonction de leur potentiel agronomique pour les 4 départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard) selon trois approches différentes. La première approche propose une mesure de la part que représente l'artificialisation des différentes classes de sols par rapport à l'ensemble de la superficie de la zone d'étude. La deuxième approche apporte une information différente puisqu'elle s'intéresse à la répartition de l'artificialisation en fonction des classes de potentiel agronomique des sols. Enfin la dernière approche considère pour chaque classe de sol la part perdue par rapport à la superficie initiale de ces classes.

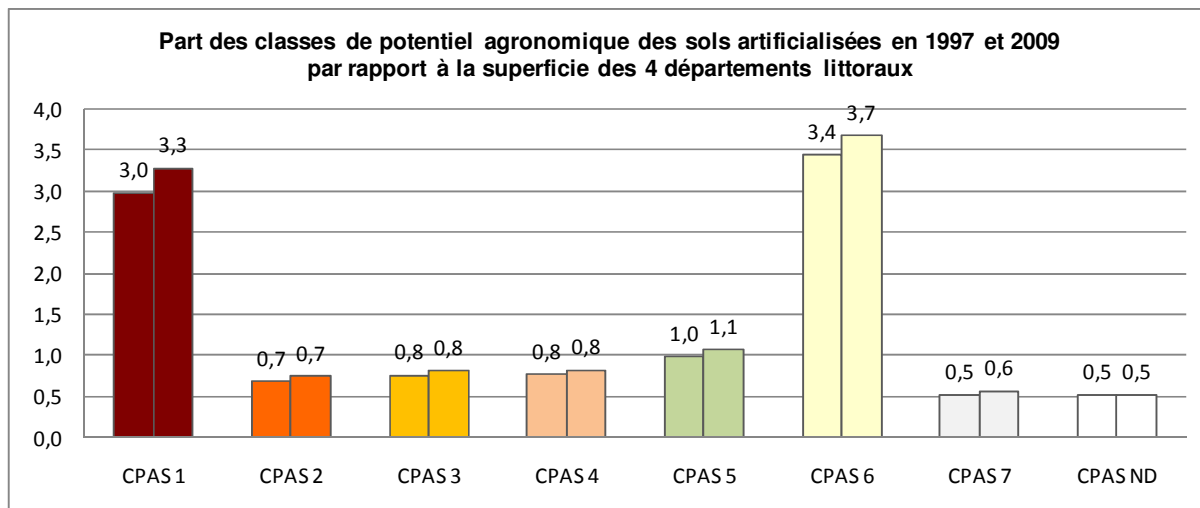


Figure n°29 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des 4 départements littoraux

A l'échelle des 4 départements littoraux la part des sols de classe 1 touchés par l'artificialisation représentait 3 % de la superficie totale de la zone d'étude en 1997 et 3,3 % en 2009 ; la part des sols de classe 6 touchés par l'artificialisation représentait 3,4 % de la superficie totale de la zone d'étude en 1997 et 3,7 % en 2009. Ainsi 0,3 % de la superficie des 4 départements littoraux a été artificialisée aux dépends des très bons sols et 0,3% aux dépends des sols de qualité médiocre. La part représentée par l'artificialisation des autres classes de sols n'a quasiment pas évolué. Pour une étude plus fine il apparaît plus pertinent de considérer comment se répartit l'artificialisation entre les différentes classes de sols dans un premier temps puis pour chacune d'entre elles.

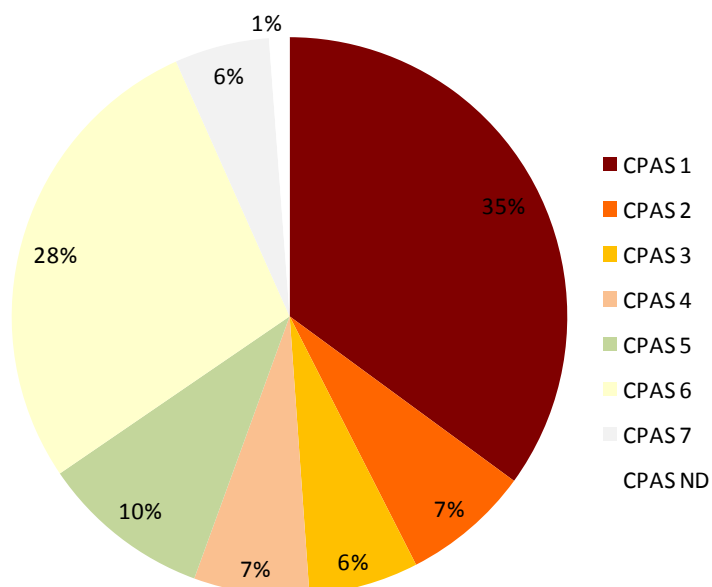
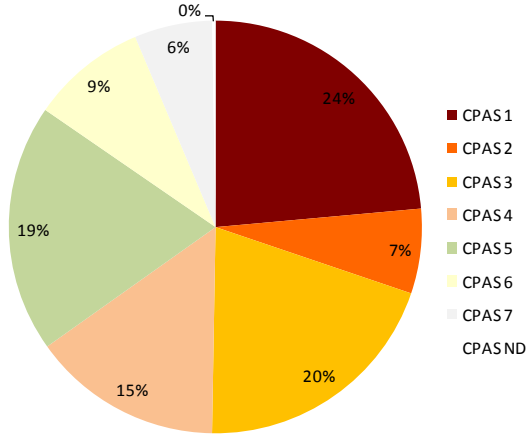


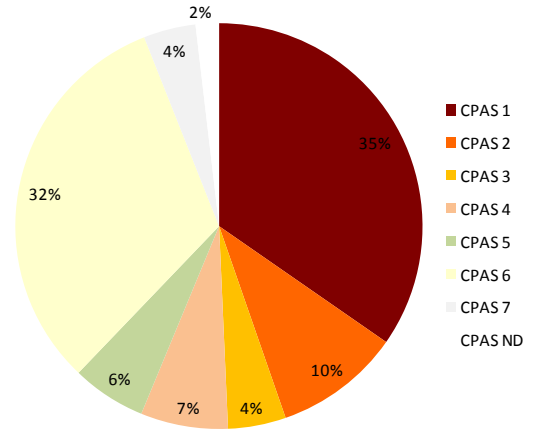
Figure n°30 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisés (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009

Entre 1997 et 2009 35 % de l'artificialisation s'est faite sur les sols de classe 1 soit de meilleure potentialité agronomique ; 28 % sur les sols de classe 6 de faible potentialité agronomique. Ce constat paraît inquiétant dans la mesure où 1/3 de l'accroissement des espaces artificialisés a touché directement les sols de haute potentialité agronomique qui ne représentaient initialement que 15% de la superficie régionale (Cf. figure n°25).

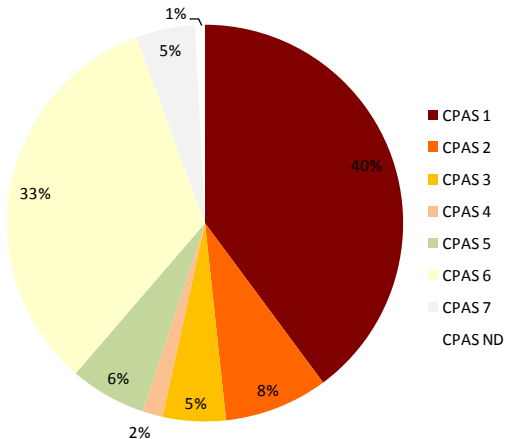
Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans l'Aude



Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans l'Hérault



Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans le Gard



Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans les PO

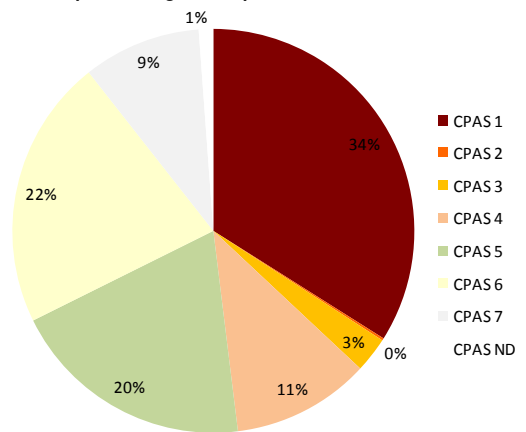


Figure n°31 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009

Une analyse par département permet d'observer des variations dans ces rapports d'une zone à l'autre. La situation est particulièrement préoccupante dans le Gard et dans l'Hérault. L'artificialisation entre 1997 et 2009 dans le département du Gard s'est faite à 48 % sur les classes 1 et 2 cumulées et à 45 % dans le département de l'Hérault. Pour ces deux départements quasiment la moitié des espaces nouvellement artificialisés entre 1997 et 2009 concernent des sols de haute potentialité agronomique qui couvrent, pour rappel, respectivement 28% et 25% seulement des superficies de ces départements (Cf. figure n°27).

Les départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales ne sont pas épargnés pour autant puisque l'artificialisation s'est faite respectivement à 31 % et à 34 % sur les classes 1 et 2. Or les Pyrénées-Orientales, en particulier, possèdent initialement une très faible proportion de sols de bon potentiel agronomique (10% de la superficie du département). Une dernière approche rapportant la part de l'artificialisation à la superficie initiale de chacune des classes de sols apparaît donc nécessaire.

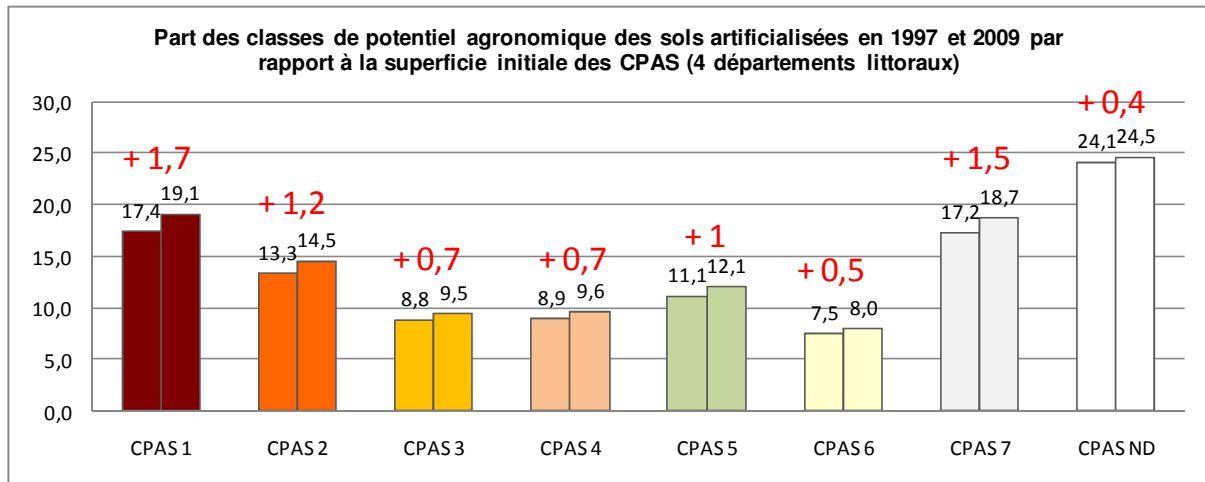
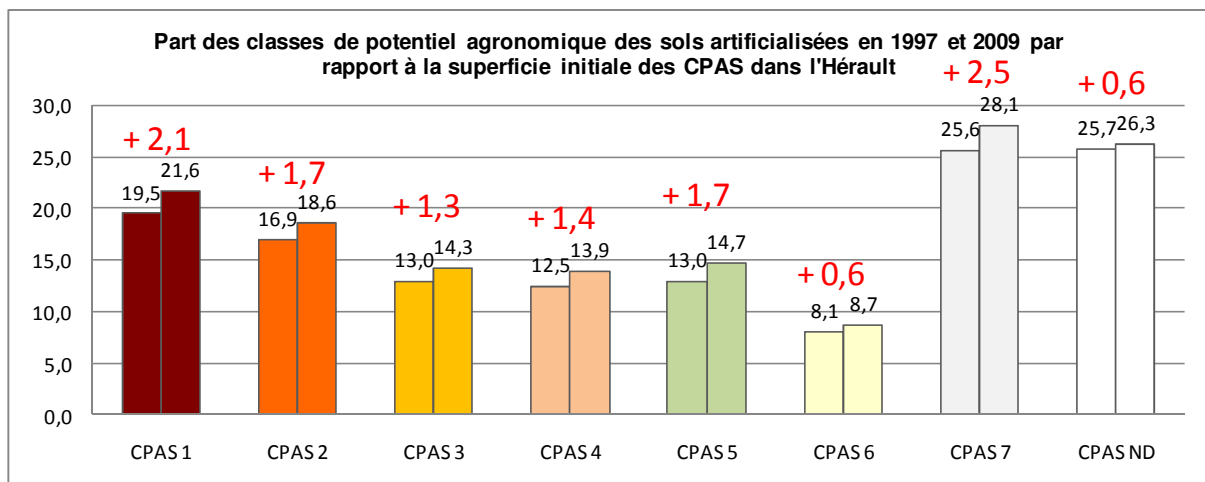
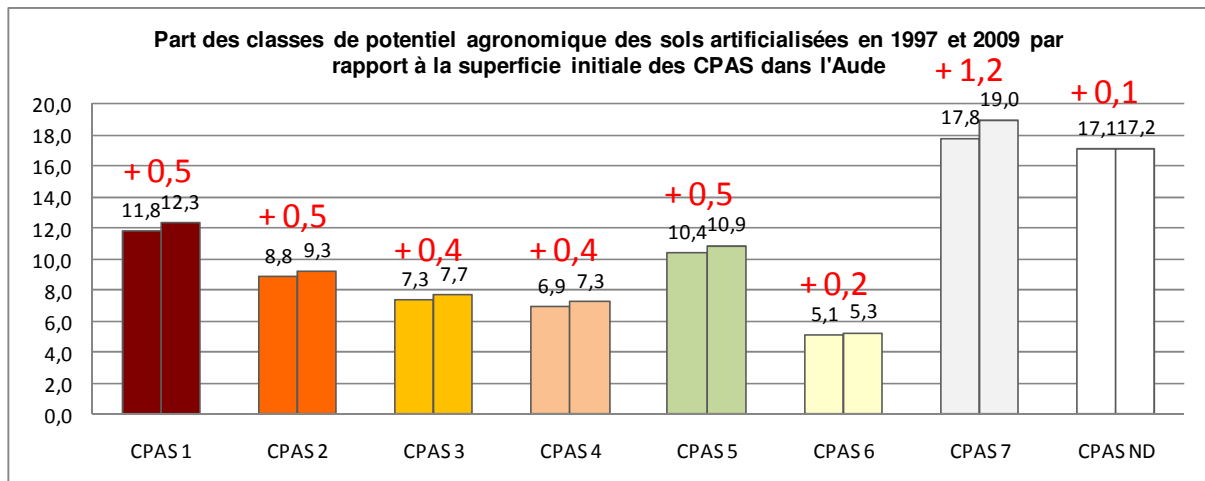


Figure n°32 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales

A l'échelle des 4 départements littoraux on constate que les sols qui ont perdu le plus de superficie par artificialisation entre 1997 et 2009 sont les sols appartenant aux classes 1, 7 et 2, qui ont perdu respectivement 1,7 %, 1,5 % et 1,2 % de leur superficie en 12 ans. Dès 1997 le constat est alarmant puisque presque 1/5ème des sols de classe 1 et 13 % des sols de classe 2 sont consommés par les espaces artificialisés. Les sols salins donc a très faible potentiel agronomique ont également subi une perte importante liée à l'artificialisation, presque 1/5ème de leur superficie. Pour une analyse plus fine l'idéal serait de disposer au minimum d'une troisième date à au moins dix ans d'intervalle pour comparer les rythmes d'artificialisation des sols à différentes périodes.



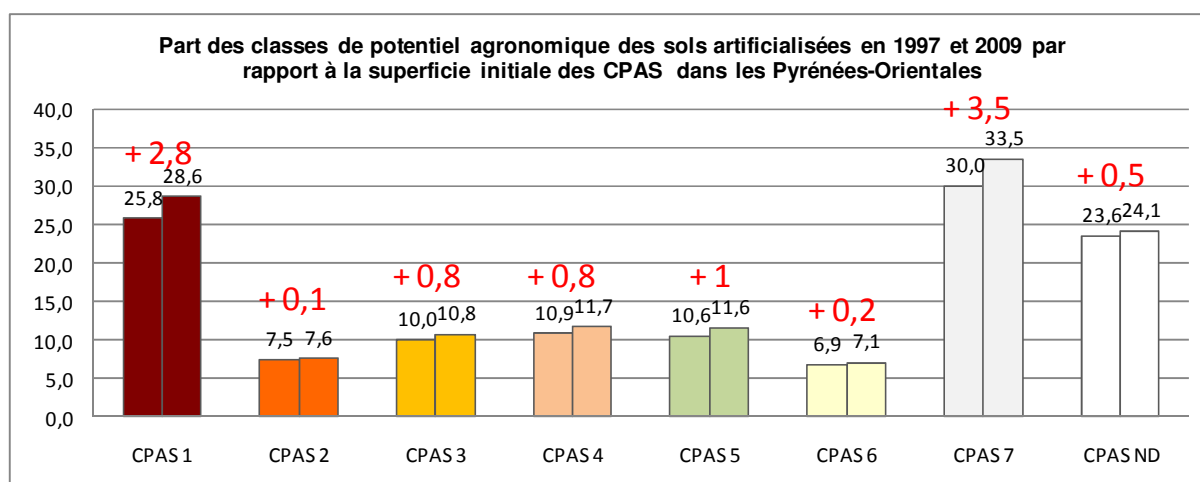
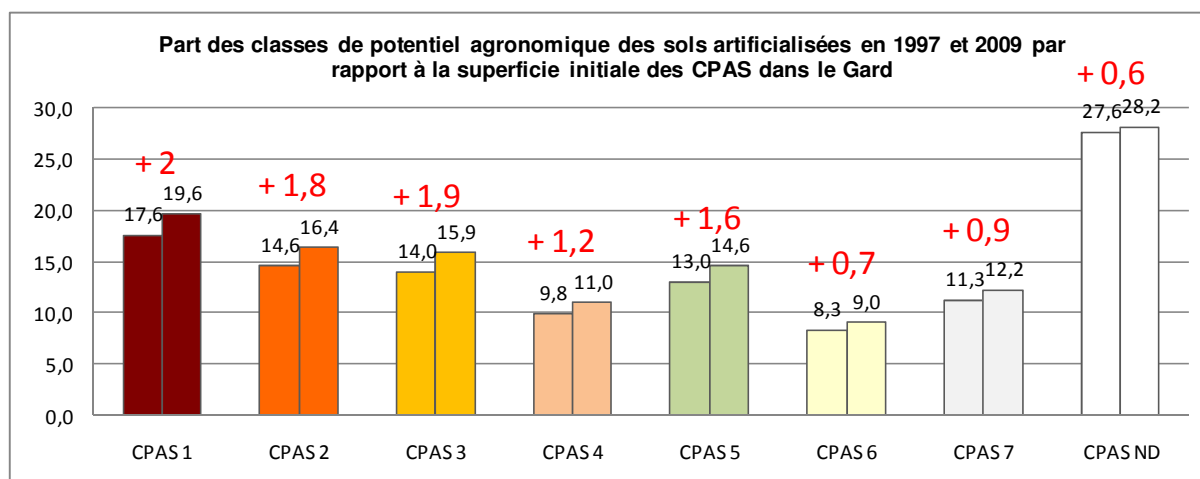


Figure n°33 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales, par département

Les figures 34 à 36 page suivante proposent une illustration de la superposition des taches artificialisées 1997 et 2009 avec la couche de potentiel agronomique des sols à l'échelle du canton des Matelles (Hérault), englobant des communes périurbaines de l'aire urbaine de Montpellier et situées au nord du pôle urbain montpelliérain.

Initialement ce canton était couvert à 30 % par des sols de classe 1 et à 65 % par des sols de classe 6. Ce canton a connu une augmentation d'environ 17 % des espaces artificialisés (toutes routes) de 1997 à 2009 notamment liée à la construction du LIEN¹⁰, soit environ 450 hectares supplémentaires. En 1997 environ 50 % des terres artificialisées, donc définitivement perdues, correspondaient à des sols de classe 1 soit de meilleure potentialité productive et 41 % à des sols de potentialité productive médiocre (classe 6) ; ce rapport est à peu près équivalent en 2009. En 2009, 25 % de la superficie initiale de la classe 1 est artificialisée donc impossible à remobiliser.

¹⁰ La liaison inter-cantonale d'évitement Nord (LIEN) a pour vocation de relier les autoroutes A750 et A9 et de fluidifier le trafic autour de l'agglomération montpelliéraine.

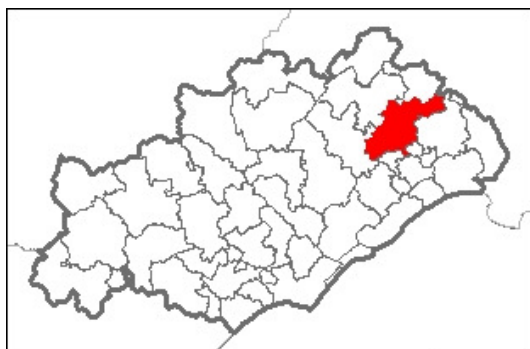


Figure n°34 : localisation du canton des Matelles

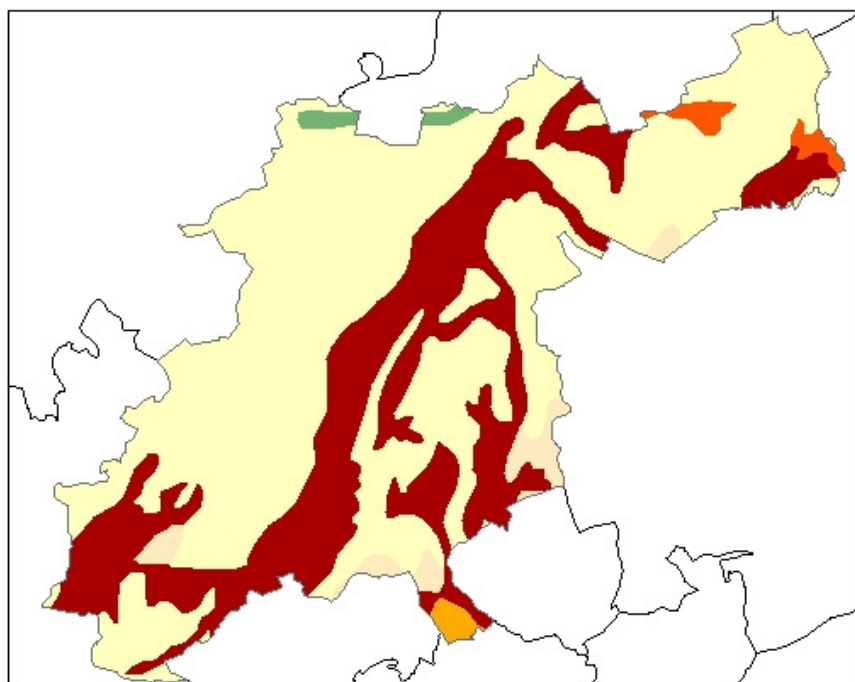


Figure n°35 : potentiel agronomique des sols (canton des Matelles)

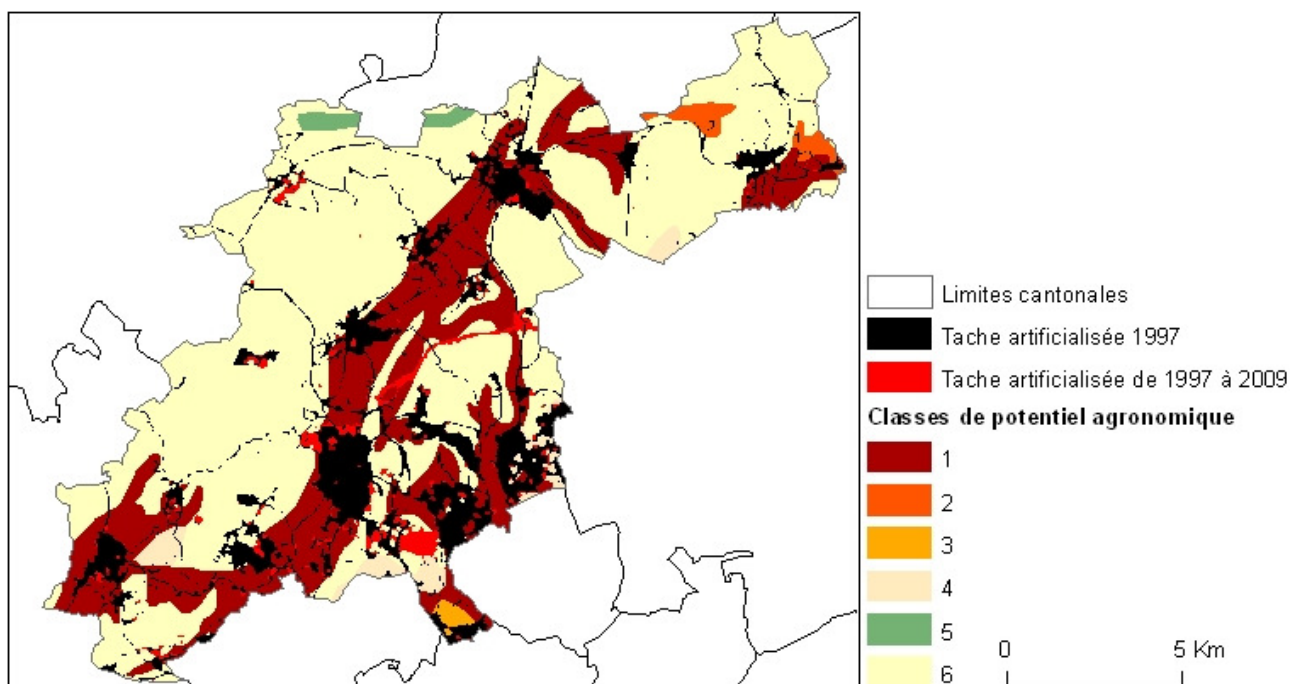
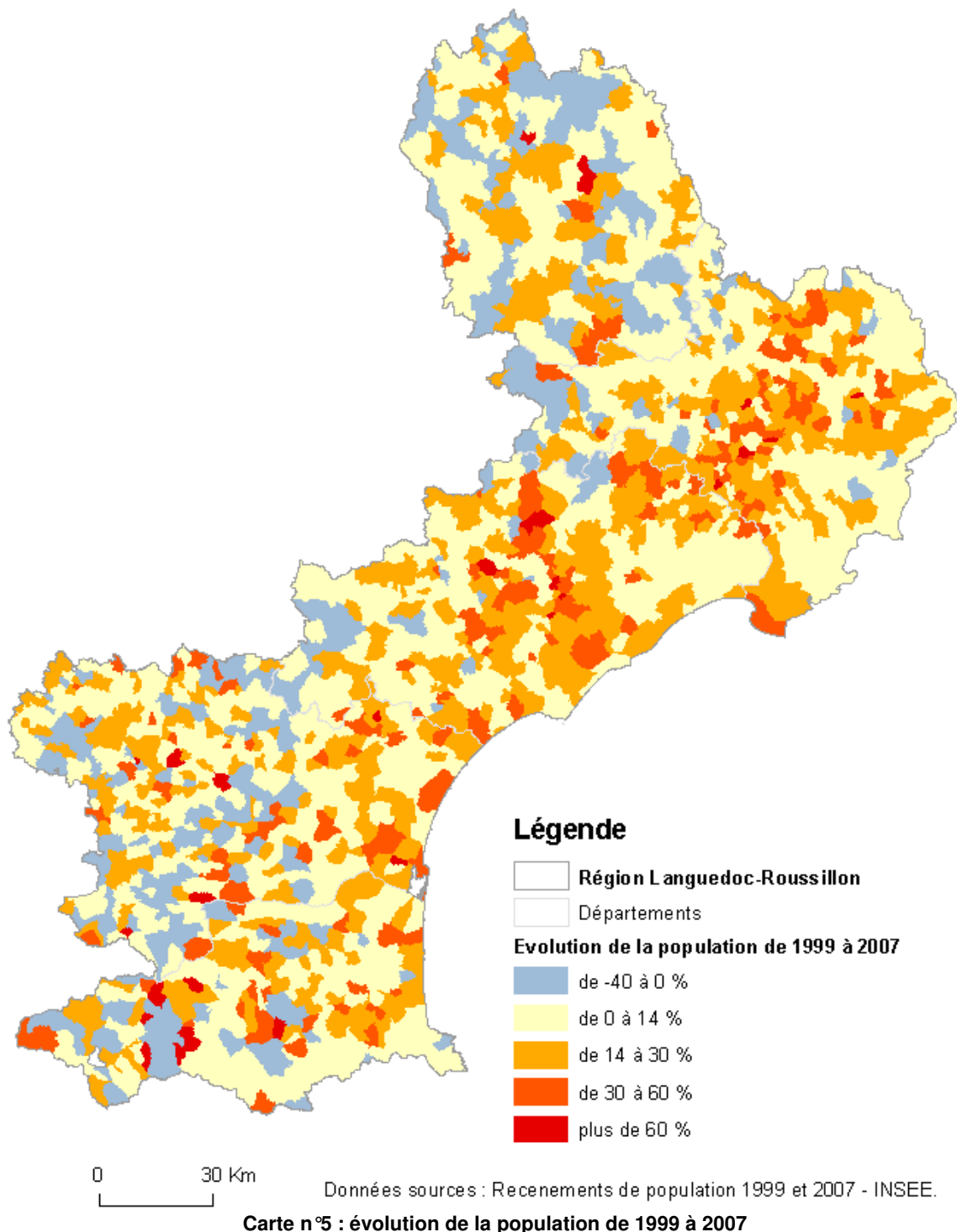


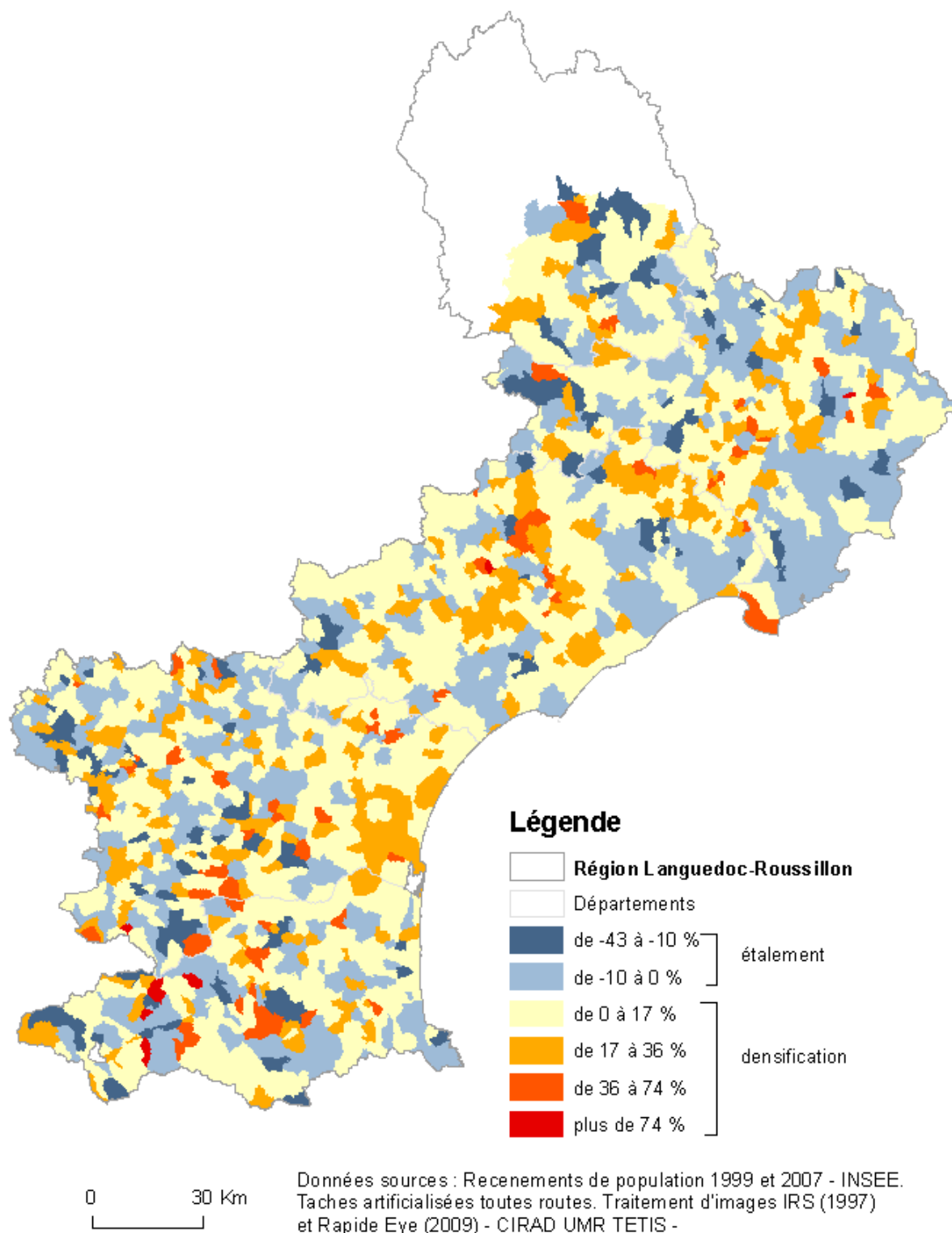
Figure n°36 : superposition des taches artificialisées toutes routes avec le potentiel agronomique des sols (canton des Matelles)

3.4.4. Dynamiques démographiques et artificialisation

L'évolution de la population entre 1997 et 2009 se fait de façon assez homogène sur le territoire régional. On note cependant une baisse de population dans de nombreuses communes de l'arrière-pays en particulier dans la Lozère, l'Aude et les Pyrénées Orientales. Le littoral reste très dynamique mais les communes périurbaines connaissent un taux de croissance plus fort que les communes des pôles urbains.



Le croisement des taches artificialisées avec les recensements de population permet de considérer de façon grossière la compacité des espaces artificialisés. La carte ci-dessous représente l'évolution de la densité nette à une maille communale c'est-à-dire l'évolution du nombre d'habitants rapporté au nombre d'hectares artificialisés et non à la superficie de la zone d'étude.



Carte n°6 : évolution de la densité nette de population de 1999 à 2007

Une évolution positive du nombre d'habitants par hectare artificialisé est synonyme d'une densification, inversement une évolution négative indique une tendance à l'étalement. On peut observer par exemple que les communes périphériques du pôle urbain montpellierain subissent une tendance à l'étalement. La période analysée (1999-2007) est encore trop récente pour considérer les effets du Schéma de COhérence Territoriale (SCOT) au sein du périmètre de l'agglomération mais également sur les dynamiques d'artificialisation des communes limitrophes.

3.5. Développement d'un outil de consultation en ligne

Une réflexion complémentaire a été conduite par le Cemagref sur la possibilité d'automatiser le calcul des indicateurs et de proposer un outil de restitution en ligne adapté spécifiquement aux besoins des utilisateurs, locaux, régionaux, voire inter-régionaux ou nationaux dans une perspective de généralisation de l'étude. Dans ce but nous nous sommes rapprochés de l'Unité de Recherche Développement des Territoires Montagnards (UR DTM) du Cemagref de Grenoble. Dans le cadre de ses activités de recherches (Indicateurs et diagnostic de la durabilité territoriale ; Systèmes d'Information territoriaux) une partie de l'équipe travaille depuis une dizaine d'année sur la réalisation pour les chercheurs du Cemagref, du Système d'Information Dédié aux Territoires (SIDDT).

Le portail SIDDT, mis en place par l'unité DTM, met à disposition des chercheurs du Cemagref différents outils d'extraction et de visualisation de données (tableaux, cartes et graphiques) pour deux grands types d'informations (Ancelet, 2009) :

- données communales et cantonales, grands fichiers statistiques (Recensement Général de la Population, UNEDIC, Base Communale de l'Equipement, SITADEL, etc.), à des mailles communales et supra communales,
- données géographiques, contours administratifs, réseaux et données environnementales.

Ces données sont documentées et disponibles sur toute la France métropolitaine.

De novembre 2010 à janvier 2011 les deux équipes TETIS et DTM ont étroitement collaboré pour adapter ce portail par la mise en place d'une interface web permettant de restituer le système d'indicateurs spatiaux développé dans le cadre du projet objet de ce rapport (Ancelet et al., 2011).

L'outil proposé a été élaboré spécifiquement pour répondre aux besoins des acteurs du projet. Il permet de combiner les données de SIDDT et les données d'artificialisation des sols et de potentiel agronomique des sols. Il propose de ce fait une large gamme d'indicateurs hiérarchisés selon une série de thématiques et sous-thématiques issues de la structuration proposée en la graphie causal général.

En pratique l'utilisateur choisit un fond cartographique puis une zone d'étude et la maille d'analyse avant de sélectionner l'indicateur dont il peut visualiser la représentation sous forme de cartographie, graphiques ou tableaux de données (Cf. figure n°37).

Une présentation détaillée de cet outil figure en annexe n°5 de ce rapport.

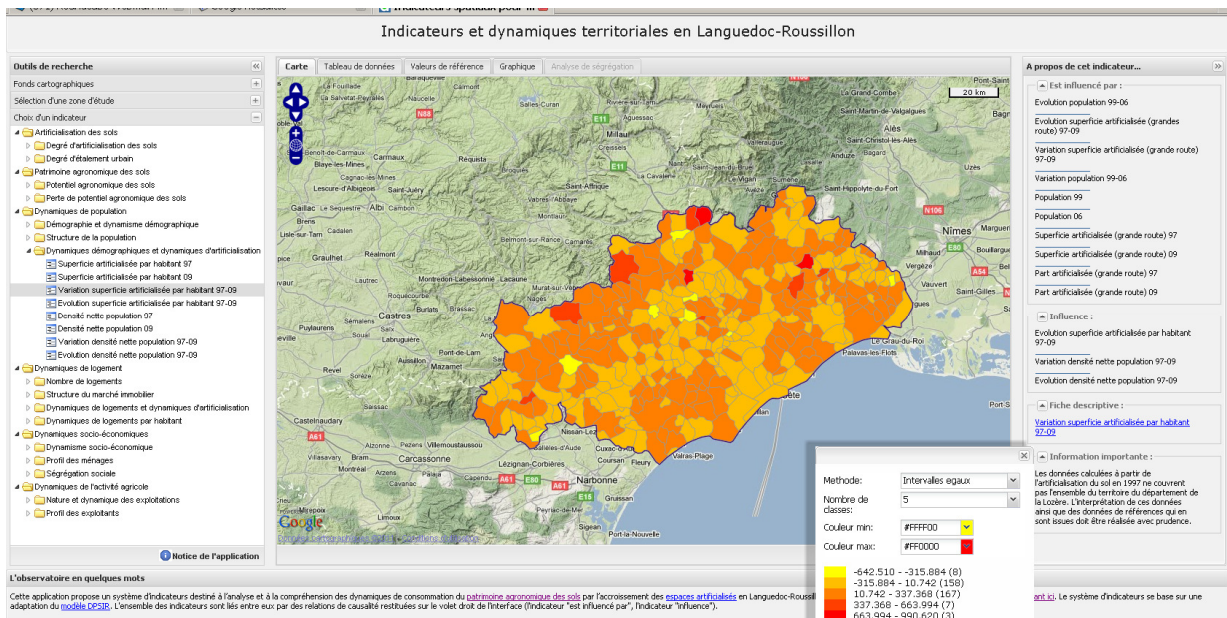


Figure n°37 : interface de l'outil de consultation en ligne

4. Synthèse et perspectives

La deuxième phase de l'étude a permis (i) de tester et valider la méthodologie de quantification des terres artificialisées élaborée en 2008 lors de la première phase et (ii) de produire deux taches artificialisées (1997 et 2009) couvrant les départements des Pyrénées Orientales, de l'Aude, de l'Hérault et du Gard déclinées en 3 variantes en fonction des types de routes considérées.

Enfin, (iii) ces données ont été valorisées sous forme d'indicateurs spatiaux rendant compte des dynamiques de consommation des terres agricoles.

La figure ci dessous présente une vue synthétique de la méthode

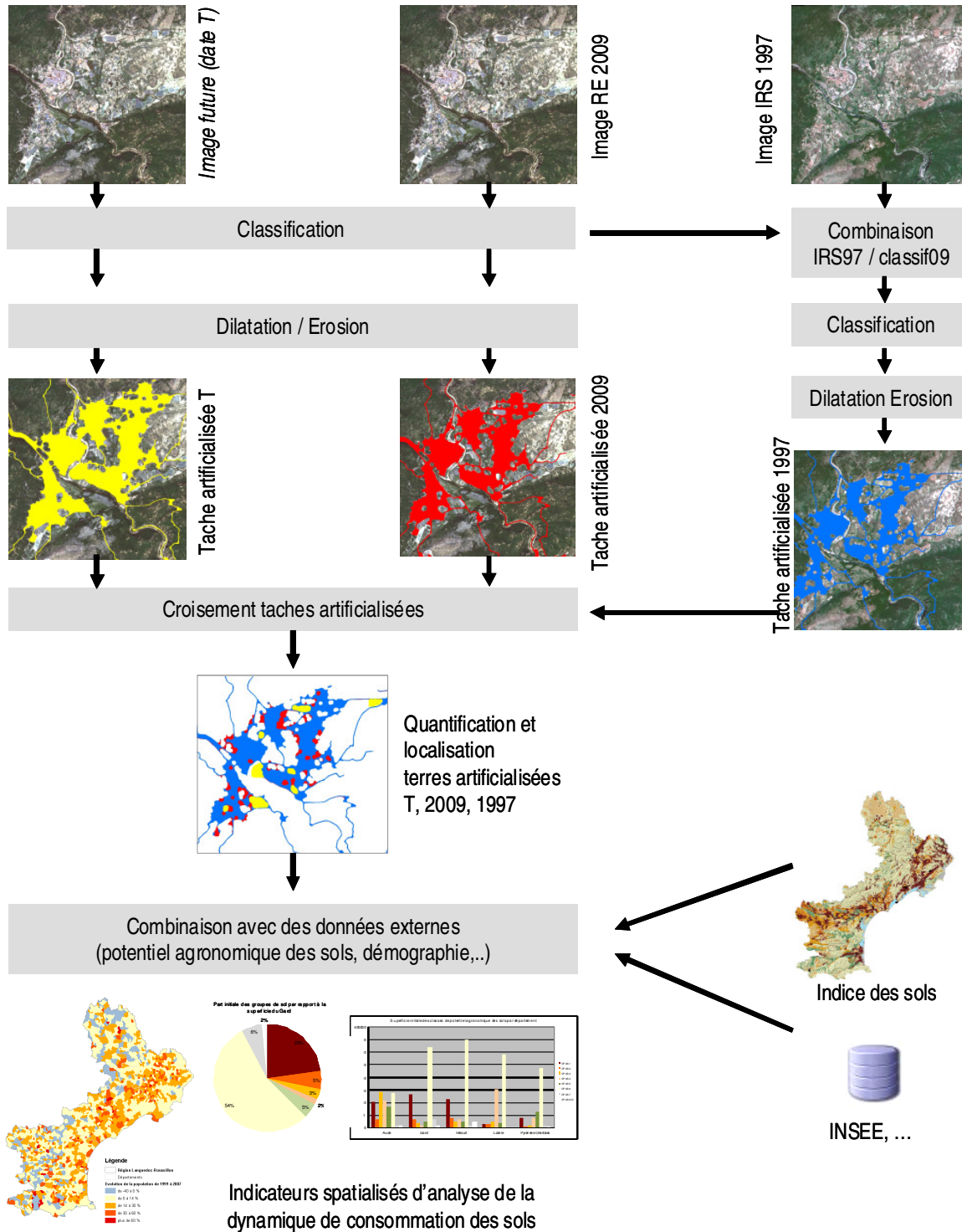


Figure n°38 : méthode générale

Au delà de ces résultats pratiques, la mise en œuvre et l'adaptation de la méthodologie à l'échelle des 4 départements et la valorisation des produits sous forme d'indicateurs ont permis de dégager de nouvelles perspectives.

En termes d'usage et de valorisation

- L'observatoire de la consommation des espaces agricoles instauré par la loi de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010 a pour mission d'élaborer des outils pertinents pour mesurer le changement de destination des espaces agricoles et homologuer des indicateurs d'évolution. La méthode générique de détermination de la tache artificialisée, transposable sur tout le territoire national et reproductible dans le temps constitue une réponse méthodologique adaptée pour mesurer ces changements d'usages. Par ailleurs les indicateurs spatiaux développés dans le cadre de ces travaux combinent avec originalité des informations de quantité et de qualité des terres consommées avec des informations socio économiques permettant d'analyser les dynamiques de consommation des terres à l'œuvre. Ils constituent également un élément de réponse potentiel aux missions de l'observatoire.
- Les taches artificialisées, la carte d'indice de potentiel agronomique des sols et les indicateurs spatiaux développés dans le cadre de l'étude constituent des outils d'analyse, de diagnostic et de porter à connaissance du territoire innovants. Leur appropriation par les acteurs et leur diffusion nécessitent des moyens de mise à disposition adaptés, simples et opérationnels. L'outil de consultation en ligne développé en marge de nos travaux et succinctement présenté dans ce document illustre ce que pourrait être une application à destination des acteurs territoriaux, voire une composante de l'observatoire.

En termes de généralisation de la méthode

L'application de la méthode sur les quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon a permis d'évaluer la pertinence de sa mise en œuvre à une échelle régionale dans un contexte méditerranéen et de l'adapter en conséquence pour obtenir des temps de traitement et des résultats pleinement satisfaisants. Il reste désormais à transposer la méthode à une plus petite échelle et / ou dans un contexte différent.

- L'application de la méthode sur une ou deux régions supplémentaires permettrait de valider définitivement sa transposabilité à petite échelle et dans un contexte différent tout en affinant les contraintes de généralisation.
- L'application de la méthode à tout le territoire national constitue la cible ultime de généralisation. Elle permettrait de produire un état de référence des espaces artificialisés, indispensable au suivi de leur évolution ultérieure.
- Enfin, la méthode pourrait être intégrée dans une approche globale de caractérisation des territoires à petite échelle (territoires régionaux ou national). Cette approche pourrait traiter de l'artificialisation, des paysages, de l'occupation du sol fine (ripisylves, habitats,...) de manière à produire des couches d'information thématiques de référence, parfaitement cohérentes entre elles et à disposition des acteurs publics.

A noter que le Cemagref dans le cadre de GEOSUD (www.geosud.teledetection.fr) et en continuité avec la stratégie d'acquisition des images satellitaires initiée durant ce projet, développe une politique de mutualisation d'images. Durant les 6 prochaines années (2011-2016) une couverture satellitaire annuelle haute résolution (5m) d'été (mai-septembre) sera régulièrement acquise sur l'ensemble du territoire national et mise à la disposition gratuite de la sphère publique : services de l'Etat, établissements publics et collectivités territoriales.

En termes d'amélioration et de développement

- La méthode mise en œuvre durant cette deuxième phase de l'étude a permis de déterminer les espaces artificialisés du territoire considéré. Son application a également mis en valeur des voies d'amélioration des traitements pour augmenter encore la précision et l'exhaustivité des résultats tout en diminuant les temps de traitement.
 - o Par l'intégration de corrections radiométriques et le calcul de texture pour les zones naturelles.
 - o Par l'utilisation de données thématiques complémentaires :
 - le RGE ®IGN (Référentiel Grande Echelle) constitué de nombreuses couches de données décrivant l'occupation du sol de toute la France et mis à disposition

- gratuitement dans le cadre de missions de service public depuis le premier janvier 2011,
 - le Registre Parcellaire Graphique (RPG), qui tend vers l'exhaustivité des parcelles agricoles relevant des exploitations tout ou partie subventionnées par la PAC.
- Enfin, d'un point de vue plus exploratoire, de nouvelles pistes de développement méthodologique sont apparues récemment, qui permettraient d'approfondir la réflexion sur la consommation des espaces agricoles.
 - Les taches artificialisées pourraient, dans une démarche prospective, alimenter un logiciel de simulation par automate cellulaire, permettant d'élaborer des scénarios d'évolution de l'artificialisation des sols pour les prochaines décennies en fonction de règles et contraintes définies par l'utilisateur.
 - L'utilisation complémentaire de la télédétection laser type LIDAR (Light Detecting And Ranging) constitue une autre voie de développement. Ces outils produisent des modèles numériques de surface en trois dimensions permettant par exemple de déterminer la forme et la hauteur du bâti, dont on pourra extrapoler la nature (habitat individuel, immeuble,...) et la superficie développée. En combinant ces outils avec les taches artificialisées, il deviendrait possible d'évaluer et de suivre la densité du bâti. La densification urbaine constitue une problématique instaurée par la loi SRU et une contrainte centrale de la politique d'urbanisme renforcée par la loi Grenelle II.

Table des illustrations

Table des figures

Figure n°1 : méthode générale	6
Figure n°2 : exemple de classification (extrait).....	7
Figure n°3 : classification simplifiée.....	7
Figure n°4 : zone artificialisée (extrait)	8
Figure n°5 : étapes de création de la tache artificialisée à partir des objets de zone artificialisée	9
Figure n°6 : comparaison de la représentativité des taches artificialisées en fonction de la distance de continuité du bâti retenue	10
Figure n°7 : extrait de la tache artificialisée.....	10
Figure n°8 : suivi de l'évolution de l'artificialisation par superposition des taches artificialisées	10
Figure n°9 : tableau d'assemblage des images RapidEye	11
Figure n°10 : Tableau d'assemblage des images IRS	12
Figure n°11 : nomenclature retenue	13
Figure n°12 : exemple de texture	13
Figure n°13 : approche descendante	14
Figure n°14 : exemples de résultats obtenus pour chaque niveau de segmentation	15
Figure n°15 : matrice de confusion détaillée exprimée en pourcentage	16
Figure n°16 : matrice de confusion exprimée en pourcentage.....	17
Figure n°17 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département de l'Hérault).....	18
Figure n°18 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département de l'Hérault)	19
Figure n°19 : tache artificialisée sans routes (département de l'Hérault).....	19
Figure n°20 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 2009 et des images Rapide Eye (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez.....	20
Figure n°21 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 1997 et des images IRS (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez.....	20
Figure n°22 : superposition des tache artificialisée toutes routes 1997 et 2009 – secteur Prades le Lez	20
Figure n°23 : adaptation du cadre théorique DPSIR	24
Figure n°24 : graphe causal général	24
Figure n°25 : part initiale des classes de potentiel agronomique des sols par rapport à la superficie régionale	31
Figure n°26 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département.....	32
Figure n°27 : part des CPAS / superficie départementale.....	33
Figure n°28 : taches artificialisées toutes routes en 1997 et de 1997 à 2009 en hectares.....	35
Figure n°29 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des 4 départements littoraux	37
Figure n°30 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisés (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009	37
Figure n°31 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009	38
Figure n°32 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales	39

Figure n°33 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales, par département	40
Figure n°34 : localisation du canton des Matelles	41
Figure n°35 : potentiel agronomique des sols (canton des Matelles)	41
Figure n°37 : interface de l'outil de consultation en ligne	44
Figure n°38 : méthode générale	45

Table des cartes

Carte n°1 : zonage en aires urbaines de l'INSEE du Languedoc-Roussillon en 1999	26
Carte n°2 : exemple de classification en classes de potentiel agronomique des sols (CPAS) selon un gradient de réserve utile dans les unités cartographiques des sols (par ordre décroissant)	30
Carte n°3 : taches artificialisées toutes routes 1997 et 2009	34
Carte n°4 : évolution de l'artificialisation de 1997 à 2009.....	36
Carte n°5 : évolution de la population de 1999 à 2007	42
Carte n°6 : évolution de la densité nette de population de 1999 à 2007.....	43

Table des tableaux

Tableau n°1 : indicateurs d'artificialisation et de potentialité agronomiques des sols	27
Tableau n°2 : indicateurs de perte d'un potentiel agronomique des sols par artificialisation.....	28
Tableau n°3 : indicateurs de dynamiques démographiques	29
Tableau n°4 : indicateurs croisant dynamiques démographiques et artificialisation des sols.....	29
Tableau n°5 : composition des classes de potentiel agronomique	31
Tableau n°6 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département.....	32
Tableau n°7 : évolution des différents types de taches artificialisées de 1997 à 2009 à l'échelle des 4 départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)	35
Tableau n°8 : évolution de la tache artificialisée toutes routes de 1997 à 2009 pour chacun des départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)	35

Bibliographie

AGORAH, 2005. Densification et étalement urbain à la Réunion. Mesure, localisation et évolution, Agence pour l'observation de la Réunion l'aménagement et l'habitat. Sainte Marie, AGORAH. 6 p.

Albert P., 2007. L'apport des images satellites dans l'analyse comparée des espaces périurbains des métropoles du sud-ouest européen. Thèse de géographie et aménagement. Toulouse, Toulouse II Le Mirail, UMR 5193 CNRS-LISST, CIEU. 418 p.

Ancelet E., 2009. Elaboration d'un outil d'aide à la réalisation de diagnostics territoriaux. Rapport de stage, Master 2 SIGMA, Cemagref Grenoble, Toulouse. 42 p.

Ancelet E., Bray F., Torre A., 2011. Notice de l'utilisation de l'interface « Indicateurs et dynamiques territoriales en Languedoc-Roussillon ». Cemagref, Grenoble. 20 p.

Balestrat M., Barbe E., Dupuy S., Lagacherie P., Meynard T., 2008. Analyse du potentiel des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire. Etude méthodologique sur une zone pilote (département de l'Hérault - 34). Rapport d'étude, Cemagref, INRA, DRAAF LR. 56 p.

Benoit M., Grenier M., Labrecque S., Demers A.M., 2006. Inventaire canadien des terres humides, région du Québec : Outil de validation des résultats, 12ème conférence des utilisateurs des produits ESRI, Montréal, septembre 2006

CERTU, 2007. Méthodes pour réaliser un suivi de l'évolution du bâti. Utilisation de cartes anciennes, du cadastre et de photographies aériennes. CETE Normandie-Centre. 95 p.

Congalton R., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. Remote Sensing of Environment, vol. 37, pp. 35-46

Cuniberti E., Frandon C., 2005. Les bases de données géographiques d'occupation du sol : volet tache urbaine. Descriptif et comparatif de 6 bases de données. Lyon, CETE de Lyon, CERTU. 53 p.

Girard M.C., Girard C.M., 2004. Traitement des données de télédétection. Dunod. pp. 303-335

Loi n°2010-874 du 27 juillet 2010 de modernisation de l'agriculture et de la pêche. Définir et mettre en œuvre une politique de l'alimentation (JORF n°0172 du 28 juillet 2010).
Article L. 112-1-1 du code rural et de la pêche maritime modifié.

Le Corre S., Guillaume R., Galaup, M., De Boissezon, H. 2000. Intérêts et limites de l'utilisation des images satellites en vue de la constitution d'un SIG pour la région urbaine d'Istanbul. Colloque « Représenter Istanbul hier et aujourd'hui », Istanbul, CIEU - SCOT. pp.3-23.

Ferras R., 1993. Les modèles graphiques en géographie, ECONOMICA / RECLUS, Paris, p. 112

INSEE Résultats du recensement de la population 2007

<http://www.recensement.insee.fr/home.action>

INSEE Recensement de la population Mars 1999 Les résultats

http://www.recensement-1999.insee.fr/RP99/rp99/page_accueil.paccueil

Joerin F., Lebreton M., Desthieux G., 2005, Des systèmes d'indicateurs pour aider les acteurs à manipuler les complexités territoriales, in Développement durable, gestion des ressources et gouvernance, Lausanne, p. 9

OCDE, 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. Paris, OCDE.

Rondier, P., 2007. Un système d'indicateurs d'étalement urbain : des enjeux d'utilité et de complexité, in 3è colloque des étudiants de l'IHQEDS. Différentes perspectives pour un même but : un meilleur environnement. Laval, Québec. pp. 45-49

Salles E. (2001). Définition d'indicateurs spatiaux pour le suivi de l'état de conservation des habitats naturels. Application à la Grandes Camargue. Strasbourg / Montpellier, Cemagref / Mémoire ENGEEES. 123 p.

SESP, CERTU, 2006. *Economie urbaine. Rassemblement de la connaissance*. Chapitre 3 : Outils et méthodes. Paris, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer. Service économique, statistiques et prospective, 89 p.

Tonneau J.P., Perret S., Loyat J., 2009. Indicateurs de performance Document de travail, Montpellier, CIRAD. 8 p.